

Département de géomatique  
Faculté des lettres et sciences humaines  
Université de Sherbrooke

**Analyse du risque d'embâcles dans le sud du Québec à partir de cartes  
de glace et des données historiques**

Félix Lafond Touikan

Essai présenté pour l'obtention du grade de Maître en sciences géographiques (M.Sc.),  
Cheminement de type cours en géodéveloppement durable

Septembre 2018

© Félix Lafond Touikan, 2018

Superviseur d'essai : Nicolas Gignac

Co-superviseur d'essai : Serge Légaré

(Ministère de la Sécurité Publique du Québec)

Membres du jury :

Nicolas Gignac (Ministère de la Sécurité Publique du Québec)

Ramata Magagi (Département de Géomatique, Université de Sherbrooke)

## Résumé

Les embâcles de glace sont un phénomène récurrent qui représente un risque important au niveau des activités humaines par le biais d'inondations ou de bris d'infrastructures. Afin d'étudier et de faire le suivi de ces embâcles, le Ministère de la Sécurité Publique du Québec produit des cartes de glace à partir d'imagerie satellitaire radar. L'objectif de cet essai est d'utiliser ces cartes de glace et de les analyser avec les données historiques des embâcles (date, position, degré de sévérité) afin de construire des signatures de classe de glace des embâcles selon le degré de sévérité, à différentes superficies d'observation. Pour arriver à ces résultats, un processus d'analyse géomatique a été développé en quelques itérations. Les résultats montrent des signatures plus distinctes pour les distances de 100m et 200m, mais au-delà de 500m, les signatures sont très similaires tout degré de sévérité confondu. Les résultats ont été également analysés pour chaque rivière étudiée et une analyse différentielle a été produite pour constater l'évolution temporelle des embâcles de sévérité importante. Des recommandations sont suggérées à la fin pour augmenter la qualité des résultats.

## Table des matières

Table des figures	5
Glossaire	6
1. Introduction	7
1.1 Contexte	7
1.2 Problématique	7
1.3 Objectifs de recherche	8
2. Cadre théorique	8
2.1 Détection de la glace par satellite	9
2.2 Classification de la glace	9
2.3 Méthodes et technologies existantes	10
2.4 Études d’embâcles et prédictions	11
3. Matériel et méthodes	12
3.1 Site d’étude	12
3.2 Données	13
3.3 Méthodologie	15
3.3.1 Traitements dans QGIS	16
3.3.2 Traitements dans FME Desktop 2016	19
3.3.4 Traitements dans FME Desktop 2017.1	22
3.3.5 Comparaison ancienne et nouvelle méthode	25
4. Résultats	26
4.1 Résultats globaux	27
4.2 Résultats par rivières	30
5. Interprétation et discussion des résultats	34
5.1 Analyse des résultats globaux	34
5.2 Analyse des résultats par rivières	36
5.3 Analyse différentielle des embâcles importants en fonction de la distance	37
6. Conclusion	47
7. Recommandations	48
8. Références	49
Annexes	51
Résultats compilés	51
Résultats par rivière – L’Assomption	52

Résultats par rivière – Chaudière	53
Résultats par rivière – Matane	54
Résultats par rivière – Matapédia	55

## Table des figures

Figure 1 - Carte des rivières à l'étude.....	12
Figure 2 - Données historiques d'embâcles sur l'IGO.....	13
Figure 3 - Cartes de glace disponibles sur l'IGO .....	14
Figure 4 - Tableau des traitements réalisés dans QGIS.....	16
Figure 5 - Traitements dans QGIS.....	17
Figure 6 - Compilation des résultats dans les chiffriers Excel .....	18
Figure 7 - Processus global planifié dans le Processing Modeler .....	19
Figure 8 - Sous-processus fonctionnel utilisé dans le projet.....	19
Figure 9 - Vue d'ensemble du workspace FME .....	19
Figure 10 - Première partie du traitement FME .....	20
Figure 11 - Deuxième partie du traitement FME .....	21
Figure 12 - Troisième partie du traitement FME.....	21
Figure 13 - Résultats dans le Data Inspector de FME .....	22
Figure 14 - Sous-section du traitement FME pour la validation spatiale des embâcles et des cartes de glace.....	23
Figure 15 - Sous-section du traitement FME pour l'extraction de la date de la carte de glace ....	24
Figure 16 - Sous-section du traitement FME pour la validation de la date de l'embâcle en rapport à la date de la carte de glace .....	24
Figure 17 - Sous-section du traitement FME pour le calcul du pourcentage des résultats .....	25
Figure 18 - Association entre l'embâcle 4238 et les cartes de glace depuis la méthode originale	25
Figure 19 - Association entre l'embâcle 4238 et les cartes de glace sous FME .....	26
Figure 20 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 100m) .....	27
Figure 21 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 200m) .....	28
Figure 22 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 500m) .....	28
Figure 23 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 1000m) .....	29
Figure 24 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 2000m) .....	29
Figure 25 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 3000m) .....	30
Figure 26 - Résultats pour la rivière l'Assomption .....	31
Figure 27- Résultats pour la rivière Chaudière.....	32
Figure 28- Résultats pour la rivière Matane .....	32
Figure 29- Résultats pour la rivière Ristigouche/Matapédia.....	33
Figure 30- Résultats pour la rivière St-François.....	33

## Glossaire

DN : Digital Number

IGO : Infrastructure de Géomatique Ouverte

INRS : Institut National de Recherche Scientifique

IR : Infra-Rouge

IRT : Infra-Rouge Thermique

MODIS : Moderate Resolution Imagery Spectroradiometer

MSP : Ministère de la Sécurité Publique

PIR : Proche Infra-Rouge

RSO : Radar à synthèse d'ouverture

SHP : Esri Shapefile

# 1. Introduction

## 1.1 Contexte

Les embâcles sont des amas de glace provoquant l'obstruction d'un cours d'eau (Gouvernement du Canada, 2011). Leur formation arrive généralement vers la fin de la saison hivernale où les glaces fondent, se cassent et dérivent sur les cours d'eau. Lors de leur progression, ces morceaux de glace peuvent rencontrer différents obstacles bloquant leur passage. Par exemple, il peut y avoir des calottes de glace se trouvant à la surface de segments de rivière où la vitesse de l'eau est moindre (étangs, lacs), ou même des caractéristiques géomorphologiques du lit de la rivière telle que des îles, barres, méandres, les contractions et élargissement des canaux et également des éléments d'infrastructures tels que les piliers de ponts (Turcotte et Morse, 2013).

La rencontre de ces obstacles peut ainsi provoquer une congestion du passage. C'est le début de l'embâcle. Lorsque les morceaux de glace se heurtent sur ces obstructions, ils sont arrêtés et contribuent par le fait même, à obstruer le chemin des morceaux de glace en amont. De cette manière, les morceaux de glace s'accumulent et l'embâcle s'agrandit. Les embâcles peuvent atteindre des dimensions très importantes : ils peuvent s'étirer sur plusieurs kilomètres et atteindre plusieurs mètres d'épaisseur (Beltaos, 2008). Par leur étendue, masse et irrégularité structurale, les embâcles produisent une énorme résistance hydraulique et représentent un obstacle majeur au cours de la rivière (Beltaos, 2008). C'est la rencontre de cette résistance qui amènera les rivières à inonder leurs berges ou à pousser l'embâcle en aval, détruisant ce qui se trouve sur son passage.

## 1.2 Problématique

Les embâcles ont un potentiel d'impact important au niveau des activités humaines. Dans la plupart des cas, il s'agit d'inondations et de dommages aux infrastructures (bris de ponts, quais). Comme les embâcles sont un phénomène annuel récurrent, les instances municipales et gouvernementales doivent se doter d'un plan de gestion du risque. Lorsqu'un risque d'embâcle est repéré, certaines actions peuvent être prises en guise de prévention. Par exemple, briser la glace de rivière à l'avance de manière à prévenir la formation d'embâcles dans le futur à partir l'utilisation de machines comme les grenouilles

amphibies (Péloquin, 2009) ou d'explosifs (Plamondon, 2013). Dans d'autres cas, il faut évacuer une région à risque d'inondation ou d'isolement par bris d'infrastructure comme à Galena, en Alaska (The Huffington Post Canada, 2013).

### 1.3 Objectifs de recherche

Dans le cadre de ce travail, l'objectif principal sera d'évaluer si une corrélation peut être déterminée entre les données historiques des embâcles de rivières et les classes de glaces présentes sur les cartes de glace. Le degré de sévérité des embâcles sera également pris en compte lors de la recherche. Ainsi, le but est d'obtenir un portrait de la proportion de chaque classe de glace pour chaque degré de sévérité d'embâcles. Dans le cas où les embâcles d'un degré de sévérité particulier possèdent les mêmes proportions de classes de glace, cela pourrait constituer une signature caractéristique. Si une corrélation peut être établie et qu'une signature se dégage selon les classes de glace et les degrés de sévérité, il serait alors probable de réutiliser cette signature pour détecter à l'avance la présence d'embâcles à partir des cartes de glace.

Pour observer s'il y a présence d'une signature, les résultats seront compilés de deux façons :

1. Par groupe de degré de sévérité, toutes rivières confondues
2. Par groupe de degré de sévérité, pour chaque rivière individuellement

Finalement, une analyse différentielle autour des embâcles de sévérité importante sera réalisée pour voir l'évolution des classes de glace dans le secteur à travers le temps.

## 2. Cadre théorique

Plusieurs recherches ont été menées sur la détection et le suivi des glaces de rivières à partir de l'imagerie satellitaire. Au fil des années, les recherches se sont surtout basées sur l'utilisation des images radar pour son potentiel de caractérisation de la glace (Chaouch *et al.*, 2014, Gherboudj *et al.*, 2007, Leshkevich et Nghiem, 2013, Weber *et al.*, 2003). Des algorithmes furent développés dans le but de dégager un maximum d'information



provenant de ces images, permettant ainsi d'identifier les différentes classes de glaces présentes sur le territoire observé.

## 2.1 Détection de la glace par satellite

L'utilisation de l'imagerie satellitaire à des fins d'observations de la terre remonte aux années 1970. Dès lors, le potentiel de cartographie des glaces se fait remarquer (Leshkevich, 1985). Cependant, le couvert nuageux et la durée d'ensoleillement réduite des mois hivernaux augmentent la difficulté d'obtenir une image de qualité pour les capteurs « passifs » : visible, PIR, IR, IT. L'intégration de capteurs « actifs » (micro-ondes, radar) sur les satellites permet de pallier aux inconvénients venant du contexte hivernal en permettant de générer une image de la surface de la Terre en tout temps. Comme le signal micro-onde est généré par le satellite, il n'est pas dépendant du signal source provenant du soleil, une fois réfléchi à la surface terrestre. De plus, le radar a la capacité de percer à travers le couvert nuageux et jusqu'à une certaine profondeur dans la glace et la surface. Comme ce signal est sensible à l'humidité du sol et à la présence d'eau à la surface, les capteurs radar sont d'excellents candidats pour l'étude et le suivi des glaces à partir d'un module satellitaire (Campbell et Wynne, 2011).

Le satellite canadien RADARSAT-1 et son module SAR (RSO) ont été l'outil de choix pour plusieurs recherches au niveau de la détection et de la classification de la glace (Unterschultz *et al.*, 2009), Weber *et al.*, 2003, Leshkevich et Nghiem, 2013).

L'étude de la glace par imagerie satellitaire ne se limite pas qu'à l'utilisation d'un signal radar. Dans le spectre des ondes électromagnétiques, le visible, proche infrarouge et infrarouge furent également utilisés, comme dans le cas (Chaouch *et al.*, 2014, Pavelsky et Smith, 2004) qui ont utilisé les images du capteur MODIS pour un suivi de la glace de rivière.

## 2.2 Classification de la glace

Une fois acquises, les images satellitaires sont soumises à différents traitements informatiques afin de faire ressortir un maximum d'informations. La création d'algorithmes de traitement automatisé a permis de construire plusieurs modèles de classification de la glace automatisée ou semi-automatisée (Weber *et al.*, 2003, Leshkevich et Nghiem, 2013, Bernier *et al.*, 2013). Les caractéristiques avantageuses au niveau de

l'étude de la neige et de la glace ont fait de l'imagerie RADAR la base pour le développement d'algorithme de classification de neige et de glace.

L'automatisation des traitements se base sur la signature spectrale des classes de glace. Cette signature est le produit du signal retourné venant de la surface. Ainsi, lorsqu'une onde électromagnétique entre en contact avec une surface, l'onde est retournée avec une certaine force (en pourcentage) et généralement avec une certaine déviation. Ce retour est nommé réflectance et le pourcentage de réflectance dans chacune des ondes du spectre électromagnétique constitue la signature spectrale de cette surface. (Campbell et Wynne, 2011).

Comme la glace peut se trouver sous différente forme et texture dans l'environnement, des signatures spectrales différentes ont été calculées selon la densité, la forme (rugosité), la teneur en eau, etc. de la glace (Weber *et al.*, 2003). Ainsi, une glace noire n'aura pas la même signature que de la glace consolidée, stratifiée, etc. Le laboratoire de télédétection de l'INRS, Centre Eau Terre Environnement a développé en 2009 l'algorithme ICEMAP qui permet de cartographier le couvert de glace à partir des images du satellite RADARSAT-2 (Bernier *et al.*, 2013). Cet algorithme est maintenant sous licence libre et ouverte sur la plateforme GitHub. Les cartes produites par cet algorithme sont utilisées dans ce travail.

### 2.3 Méthodes et technologies existantes

Malgré les conséquences importantes que ce phénomène peut entraîner, la détection des embâcles n'est cependant pas encore effectuée de manière systématique et intégrée. Dans la pratique, des caméras sont parfois installées aux abords des rivières afin d'avoir un suivi visuel en temps réel du niveau d'eau et de la présence d'embâcle (Morse *et al.*, 2001). Dans d'autres cas, des capteurs ont été installés dans certaines rivières à haut risque d'inondations afin d'obtenir un suivi automatique du niveau de l'eau (Robichaud et Hicks, 2001). Dans la littérature scientifique, les méthodes existantes consistent surtout à cartographier la glace de rivière (Leshkevich et Nghiem, 2013, Turcotte et Morse, 2013, Unterschultz *et al.*, 2009, Weber *et al.*, 2003) et à faire des prédictions statistiques sur le risque d'inondations liées aux embâcles (Beltaos, 2012 et 2014, Chaouch *et al.*, 2014,

Mahabir *et al.*, 2006 et 2007, Massie *et al.*, 2002). La méthode de détection des embâcles à partir de cartes de glace n'existe pas encore.

#### 2.4 Études d'embâcles et prédictions

Les impacts économiques, sociaux et environnementaux des embâcles sont des facteurs importants justifiant l'étude du phénomène. Depuis plusieurs années des recherches ont été conduites afin de comprendre les circonstances entourant le phénomène. Les études de S. Beltaos par exemple ont permis de documenter les mécaniques responsables du mouvement des embâcles sur un cours d'eau (Beltaos, 2008) ainsi que les impacts des changements de régulation et du climat sur les inondations liées aux embâcles (Beltaos, 2012). D'autres études plus portées sur la compréhension de la glace de rivière (Petrich *et al.*, 2015) s'ajoutent à la documentation disponible sur le sujet.

Bien que les embâcles soient bien étudiés et documentés, l'élaboration de modèles de prédiction fiables demeure un enjeu actuel. Différents modèles de prédiction d'embâcles ont été conçus au fil du temps à partir de modèles statistiques de probabilités de seuil (Wuebben *et al.*, 1995) de régression (Beltaos, 1984) et d'analyse discriminante (Zachrisson, 1990). Une nouvelle tendance se dégage avec l'utilisation de réseaux de neurones artificiels (Artificial neural networks) et la logique floue (fuzzy logic) pour l'élaboration des modèles de prédiction de la hausse du niveau de l'eau suite à la débâcle (Mahabir *et al.*, 2006) et pour l'élaboration de modèles de prédiction d'occurrence d'embâcle (Massie *et al.*, 2002).

Plus récemment, les caractéristiques physiques des rivières ont été étudiées pour construire un modèle de prédiction d'endroits potentiels d'embâcles. L'étude de De Munck, Gauthier *et al.*, (2017) combine les facteurs tels que la largeur (rétrécissement) des cours d'eau, la présence d'îles et de ponts ainsi que la pente des rivières pour construire le modèle.

### 3. Matériel et méthodes

#### 3.1 Site d'étude

Le site d'étude correspond à des rivières localisées dans la portion sud du Québec. Le *Ministère de la Sécurité Publique* (MSP) produit annuellement une série de cartes de glace à partir d'image radar pour plusieurs rivières de la région. Dans le cadre de ce projet, cinq rivières ont été sélectionnées pour tester la méthode. Ces rivières ont été sélectionnées pour la qualité des données disponibles ainsi que leur importance en termes de potentiel d'embâcle. La figure 1 présente une carte des rivières à l'étude.

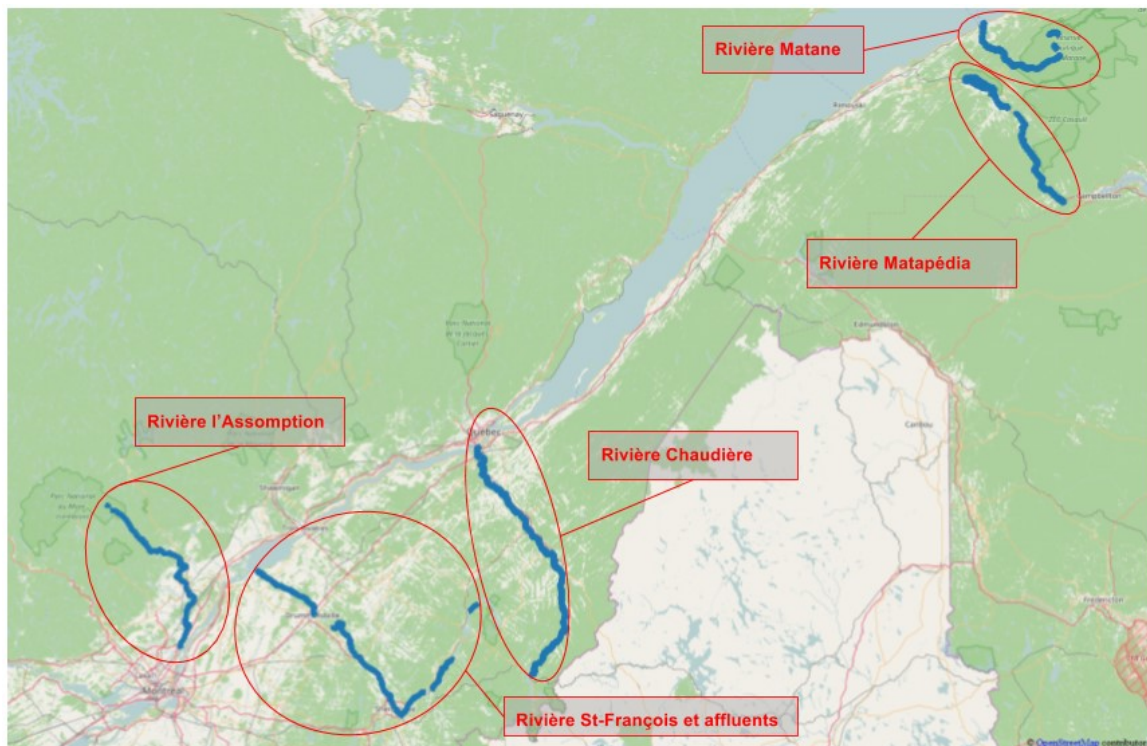


Figure 1 - Carte des rivières à l'étude

Nom de la rivière	Région(s) administrative(s)
Chaudière	Chaudière-Appalaches
St-François (et affluents)	Centre-du-Québec, Estrie
L'Assomption	Lanaudière
Ristigouche-Matapédia	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine
Matane	Bas-Saint-Laurent

### 3.2 Données

Les embâcles sont principalement rapportés par des observateurs terrains ou des citoyens qui ont observé les embâcles sur les cours d'eau. Au fil des années, ces observations ont été compilées et documentées avec leur localisation géographique (ponctuelle), leurs dates ainsi que leur niveau de sévérité (normale, mineure, majeure, importante, etc.). Le MSP a rendu disponible cette documentation via le navigateur cartographique IGO, un portail en ligne de visualisation et diffusion de données géospatiales ouvertes au grand public et donc, à la recherche (Figure 2). Les données au format SHP ont été récupérées dans le cadre de ce travail pour les années 2012 à 2015.

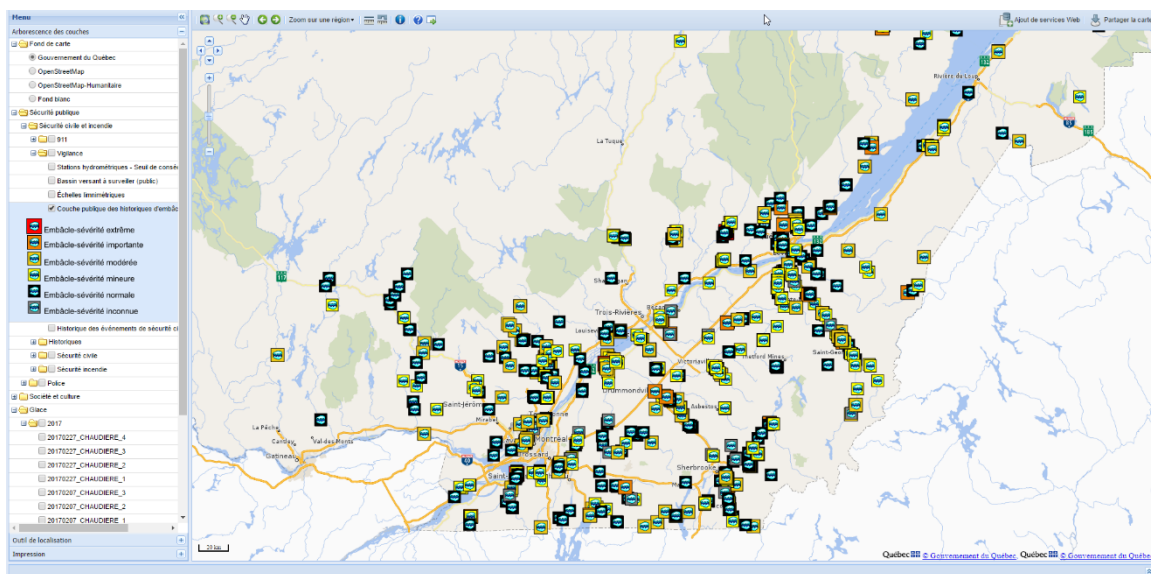


Figure 2 - Données historiques d'embâcles sur l'IGO

Les embâcles de glace sont catégorisés de la manière suivante :

Couleur	Degré de sévérité	Définition
	Inconnue	Gravité inconnue
	Normale	(Définition absente)
	Mineure	Menace faible ou non existante à la vie ou à la propriété
	Modérée	Menace possible à la vie ou à la propriété
	Importante	Menace importante à la vie ou à la propriété
	Extrême	Menace extraordinaire à la vie ou à la propriété

Dans le cadre de ce travail, ces données ont été analysées et comparées avec des cartes de glaces provenant également du MSP. Ces cartes de glace ont été produites à partir d'images satellitaires venant de RADARSAT-2. Les images radar ont été traitées avec l'algorithme ICEMAP développé par l'INRS, permettant de produire des cartes de glace classifiées selon le type de glace détecté. Ces cartes de glaces contiennent également une date associée qui permettra de les mettre en relation correctement avec les données historiques d'embâcles. Les cartes de glaces sont déployées au format TIF. Pour correspondre avec les données SHP des embâcles, les cartes de glace de 2012 à 2015 des cinq rivières à l'étude ont été utilisées. Ci-dessous, la figure 3 représente une carte avec les classes de validation pour isoler les 9 classes.

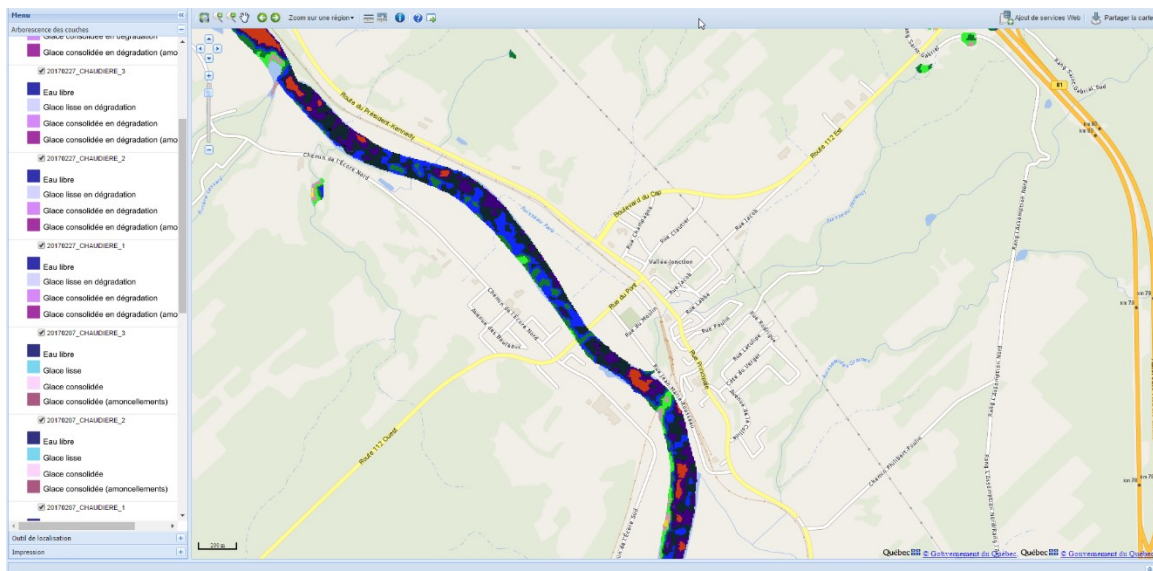



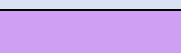



Figure 3 - Cartes de glace disponibles sur l'IGO

Les cartes de glace associent une couleur à une classe de glace en particulier. La légende ci-dessous permet d'identifier les classes de glace ainsi que leurs couleurs associées.

Numéro	Couleur	Classe de glace
1		Eau libre
2		Chenal ouvert et eau sur glace
3		Glace noire en dégradation
4		Glace blanche en dégradation
5		Glace consolidée en dégradation (blocs et amoncellements)



Certaines cartes présentaient 9 classes de glace au lieu de 5 comme la majorité. Dans ces cas, la réattribution des classes a été effectuée de la manière suivante :

Classes originales	Classes de destination
0	0
1	1
2	2
3+4	3
5+6+7	4
8+9	5

Cette association a été développée dans la première partie du travail : certaines cartes de glace possédaient 9 classes de DN alors que la plupart en contenaient 5. Une observation détaillée des couleurs des classes de glace a permis de faire le pont présenté ci-dessus. Les classes additionnées sont donc représentées par la même couleur, mais le logiciel les considère comme différentes. Dans le but d'uniformiser l'analyse, toutes les cartes de glace traitées ont été ramenées sur 5 classes au lieu de 9. Dans certains cas également, les DN variaient entre 0 et 9 sans toutefois avoir chacune des classes présentes. Ceci est dû au fait que les principaux problèmes de classification sont les valeurs de signatures qui assurent la transition entre une classe et une autre.

### 3.3 Méthodologie

Le principe de base est d'associer les embâcles aux cartes de glace depuis un traitement spatial. Les données d'embâcles sont superposées aux cartes de glace et différentes procédures géomatiques sont appliquées pour extraire l'information des cartes de glace associées aux embâcles selon leur position géographique. Comme les données d'embâcles sont ponctuelles, mais que les embâcles réels couvrent des zones qui varient généralement entre 500m et 5000m, différentes zones tampons furent construites autour des embâcles afin d'aller récupérer l'information fournie par les cartes de glaces, à l'intérieur des zones tampons.

Une première itération de traitement a été réalisée avec le logiciel QGIS et une compilation des résultats s’est faite au format Excel. Par la suite, dans un souci d’automatisation, une version plus élaborée du traitement a été construite avec le logiciel FME 2016. Finalement, une version plus complète du traitement a été complétée en reprenant le processus automatisé sous FME 2016 et en l’améliorant dans FME 2017.1.

### 3.3.1 Traitements dans QGIS

Les premiers tests de stratégie ont été construits sur le logiciel QGIS. Les traitements utilisés ont été les suivants :

Traitement	Objectif
Buffer	Définir une zone tampon autour des embâcles (rayon de 100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m, 3000m)
Clip	Découper les cartes de glaces avec les polygones (zone tampon) des embâcles
Polygonize	Convertir les données matricielles des cartes de glace en données vectorielles
Dissolve	Regrouper chaque polygone d’une classe de glace pour n’en faire qu’une seule entité
Add Field	Ajouter un champ dans la table attributaire des polygones de classe de glace pour contenir l’information de la superficie
Field calculator	Calcul de la superficie des polygones des classes de glace

Figure 4 - Tableau des traitements réalisés dans QGIS

Cette série de traitements doit être appliquée pour chacun des embâcles ayant des données de cartes de glace correspondantes. La validité de l’analyse repose donc sur ces deux facteurs essentiels:

- Les embâcles doivent se superposer sur un segment de rivière pour lequel une carte de glace a été produite.



- Les dates des embâcles et des cartes de glace doivent se rejoindre sur une période de temps convenable. La différence de date entre l'acquisition de l'image radar et de l'observation de l'embâcle ne doit pas excéder 3 jours (avant ou après).

Si un embâcle n'a pas de carte associée tant au niveau spatial que temporel, il doit être exclu de l'analyse. Ces mesures ont été mises en place afin d'augmenter la précision du travail puisque les embâcles de rivière sont un phénomène pouvant varier beaucoup sur une période de quelques jours seulement.

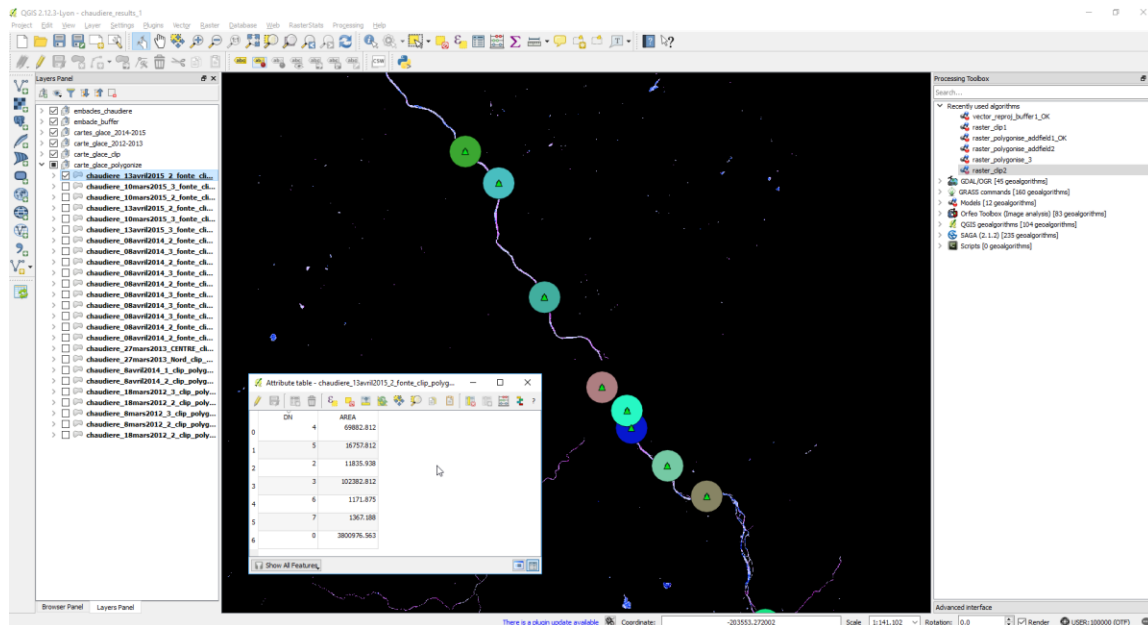


Figure 5 - Traitements dans QGIS

La figure 5 présente le projet QGIS en cours de travail. On peut y observer une carte de glace (fond noir avec lignes colorées) ainsi que la position de certains embâcles, représentés par des triangles verts. Autour des embâcles se trouve une zone tampon (cercle coloré) dans lequel est recueillie la superficie de chaque classe de glace. Le résultat est présenté dans la petite fenêtre où la colonne DN représente la classe de glace et la colonne AREA représente la superficie (en mètres carrés) des classes de glace en question.

La compilation des résultats a été effectuée dans un premier temps dans des chiffriers Microsoft Excel. Au total, 6 chiffriers ont été construits : un par rayon de zone tampon donné : 100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m et 3000m. À l'intérieur de ces chiffriers se trouve une feuille par rivière a été construite. À l'intérieur de chacune des feuilles se

trouvent l'information correspondant à chacun des embâcles, le degré de sévérité correspondant à l'embâcle, la ou les cartes de glace associées, la superficie couverte par chacune des classes de glace à l'intérieur des zones tampons, la proportion de chacune des classes de glace à l'intérieur de cette zone et la différence du nombre de jours entre l'image radar et l'observation d'embâcle.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				CLASSE DE GLACE (superficie en m2 / rayon = 100m)						
2		ID de l'embâcle	sévérité	0 (NO DATA)	1	2	3	4	5	Notes sur le délai
3		1603	mineure							
4	Nom du fichier de carte de glace	carte_glace_Matapedia_23_fevrier_2014_gel								*10j + avant embacle
5		carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte								*5j + avant embacle
6		carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte		28867.188	0.000	0.000	0.000	11132.813	0.000	*1j après embacle
7		carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes		28867.188	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*1j après embacle
8		MOYENNE (TOTAL)		28867.188	0.000	0.000	0.000	5566.406	0.000	5566.40625
9		MOYENNE (POURCENTAGE)		-	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	
10		1727	importante							
11	Nom du fichier de carte de glace	carte_glace_Matapedia_23_fevrier_2014_gel								*10j + avant embacle
12		carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte								*5j + avant embacle
13		carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte		38203.125	0.000	0.000	390.625	1406.250	0.000	*1j après embacle
14		carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes		38203.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	*1j après embacle
15		MOYENNE (TOTAL)		38203.125	0.000	0.000	195.313	703.125	0.000	898.4375
16		MOYENNE (POURCENTAGE)		-	0.00%	0.00%	21.74%	78.26%	0.00%	
17		1728	modérée							
18	Nom du fichier de carte de glace	carte_glace_Matapedia_23_fevrier_2014_gel								*10j + avant embacle
19		carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte								*5j + avant embacle
20		carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte		29414.063	0.000	0.000	0.000	10585.938	0.000	*1j après embacle
21		carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes		29414.063	0.000	0.000	0.000	10585.938	0.000	*1j après embacle
22		MOYENNE (TOTAL)		29414.063	0.000	0.000	0.000	10585.938	0.000	10585.9375
23		MOYENNE (POURCENTAGE)		-	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	
24		1729	importante							
25	Nom du fichier de carte de glace	carte_glace_Matapedia_23_fevrier_2014_gel								*10j + avant embacle
26		carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte								*5j + avant embacle
27		carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte		1729	17656.250	19453.125	1210.938	1679.688	0.000	*1j après embacle

Figure 6 - Compilation des résultats dans les chiffriers Excel

La figure 6 illustre une section des résultats pour la rivière Ristigouche-Matapédia. La colonne B indique l'identifiant de l'embâcle (numéro dans les lignes grises) ainsi que le nom des fichiers des cartes de glace associés. La colonne C représente le degré de sévérité de l'embâcle. Les colonnes D, E, F, G, H et I présentent les classes de glace, selon leur identifiant numérique (0 à 5) en commençant par le NO DATA (0) ou les zones noires sur les cartes de glace. La colonne J indique la différence en nombre de jours entre la date de l'embâcle et la date des cartes de glace. Lorsque la date des cartes de glace était supérieure à 3 jours, les résultats étaient exclus, d'où la couleur orangée pour indiquer qu'il n'y a pas de résultats à considérer. Les résultats sont ensuite compilés sous forme de moyenne et de pourcentages dans les lignes jaunes MOYENNE (TOTAL) et MOYENNE (POURCENTAGE).

La nature répétitive du traitement a ouvert la réflexion sur une automatisation potentielle du processus global ou de sous-processus. Dans l'optique de travailler avec des outils de type Open-Source, un premier traitement automatisé a été développé dans QGIS à partir

de l'outil Processing Modeler (Figure 7). Cependant, des erreurs et des bogues dans les sous-outils n'ont pas permis d'exécuter la suite de traitements dans leur ensemble directement à partir du Processing Modeler. À la place, plusieurs sous-ensembles de traitements ont été construits pour profiter d'un léger gain en efficacité (Figure 8). Le Processing Modeler de QGIS est très sensible et plus le processus est complexe, plus le risque de bogue est élevé. Cet outil devrait s'améliorer dans la version 3 de QGIS, l'édition de QGIS utilisée dans le cadre de ce travail est 2.12.3 (Lyon).

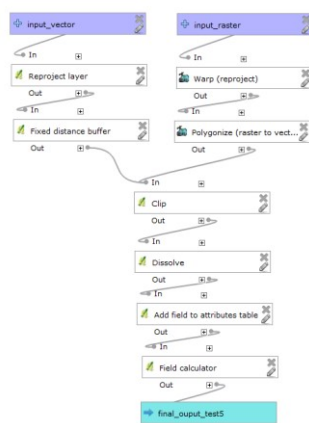


Figure 7 - Processus global planifié dans le Processing Modeler

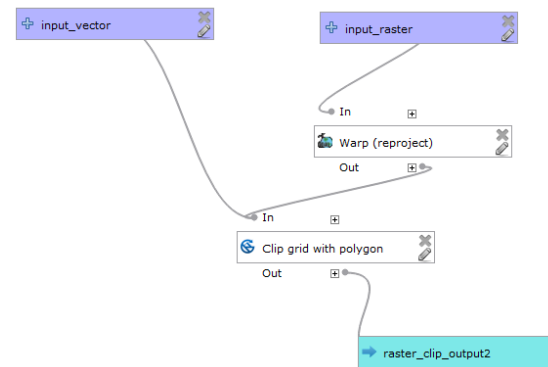


Figure 8 - Sous-processus fonctionnel utilisé dans le projet

### 3.3.2 Traitements dans FME Desktop 2016

Plus tard dans le projet, une licence étudiante pour FME Desktop a été acquise afin de tester les possibilités du logiciel dans le cadre du projet. Une automatisation plus avancée du processus a ainsi été développée, ce qui a considérablement augmenté l'efficacité de l'acquisition des résultats.

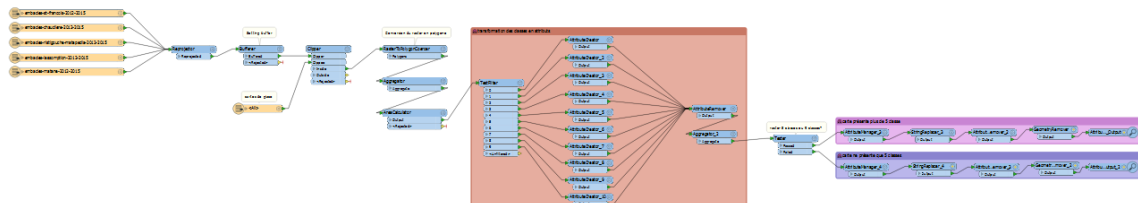


Figure 9 - Vue d'ensemble du workspace FME

Dans un premier temps, les données d'embâcles sont reprojetées pour correspondre au système de coordonnées des cartes de glace (NAD83 Quebec/Lambert, EPSG :32198). Puis une zone tampon (buffer) est créée autour des embâcles avant le découpage des cartes de glace dans le Clipper (Figure 10).

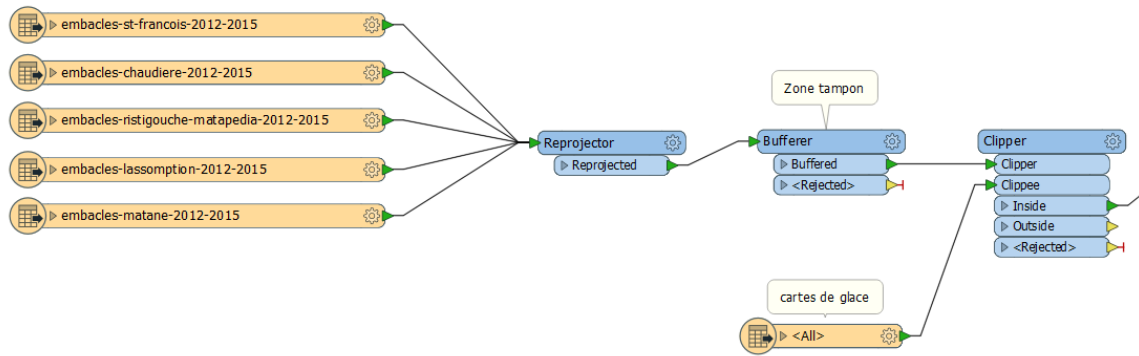


Figure 10 - Première partie du traitement FME

Ensuite, dans un second temps, les cartes de glace découpées sont converties au format vectoriel afin de calculer la superficie des polygones nouvellement créés à partir des classes de glace. Ces polygones sont ensuite combinés afin de calculer la superficie globale selon les classes de glace. Par la suite, de nouveaux attributs sont créés pour enregistrer la superficie totale selon la classe de glace (ex : attribut « classe\_0 » contiendra la superficie de glace de classe 0 pour la zone tampon de cet embâcle et ainsi de suite) (Figure 11).

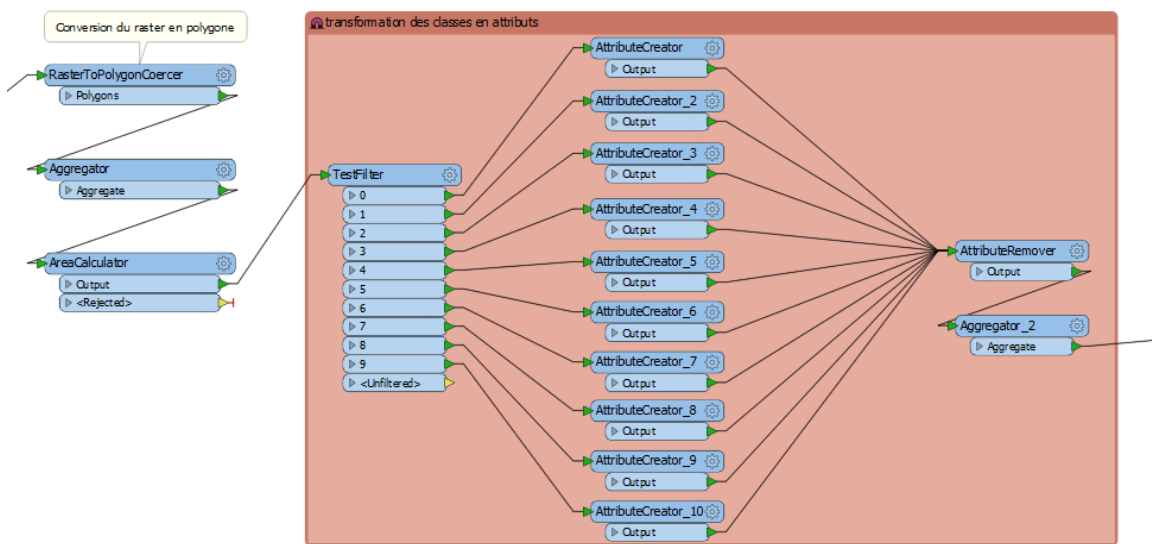


Figure 11 - Deuxième partie du traitement FME

Finalement, les résultats de chaque classe sont compilés par embâcles (Figure 12). Dépendamment de la quantité de classes qui étaient présentes selon les cartes, le résultat est compilé différemment. L’affichage ultime demeure toutefois le même à chaque fois. L’information géométrique est retirée juste avant l’affichage dans le FME Data Inspector afin d’accélérer le visionnement des résultats.

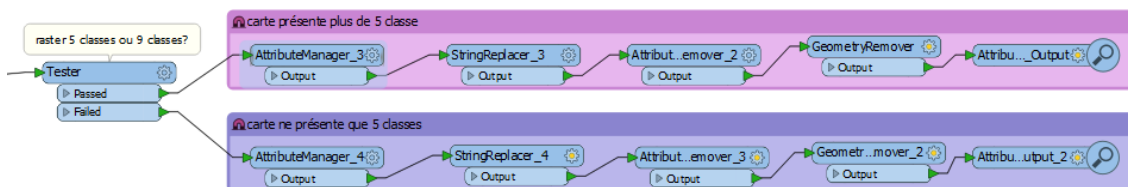


Figure 12 - Troisième partie du traitement FME

Les résultats autrefois calculés en plusieurs étapes manuelles prenaient près de 10 minutes par embâcles afin d’obtenir les résultats et de les compiler. Maintenant, l’automatisation d’une grande partie du processus permet d’obtenir les résultats en 20 secondes en moyenne par embâcle avec l’aide de FME Desktop (Figure 13).

	no_seq_obs	CL_TOT_0	CL_TOT_1	CL_TOT_2	CL_TOT_3	CL_TOT_4	CL_TOT_5	Filename
1	1732	34965507.8125	388007.8125	180976.5625	252343.75	150468.75	62695.3125	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
2	1733	34610156.25	401093.75	243710.9375	509218.75	225703.125	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
3	1735	34858398.4375	463984.375	206562.5	261835.9375	146171.875	63046.875	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
4	1730	34748125	242929.6875	224023.4375	583632.8125	191171.875	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
5	4260	34882148.4375	81562.5	21171.875	270234.375	744882.8125	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
6	1603	34638750	451718.75	238945.3125	438984.375	221484.375	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
7	1727	34568164.0625	410781.25	246054.6875	540000	224882.8125	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
8	1728	34724648.4375	262578.125	229375	577695.3125	195585.9375	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
9	1734	34888203.125	450507.8125	181875	293750	171250	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
10	4238	34572617.1875	408164.0625	247070.3125	540898.4375	221132.8125	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
11	1799	34968007.8125	385585.9375	180468.75	252304.6875	150625	63007.8125	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
12	1729	34858242.1875	175468.75	197656.25	601601.5625	162695.3125	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif
13	4240	34775950.375	261054.6875	270648.4375	578085.9375	105234.375	<null>	carte_glacé_Matapedia_28avril2015_fonte.tif

Figure 13 - Résultats dans le Data Inspector de FME

### 3.3.4 Traitements dans FME Desktop 2017.1

Une seconde itération a été faite au traitement automatisé dans FME Desktop. Avec cette nouvelle méthode, d'autres étapes auparavant manuelles ont été ajoutées au processus afin de le rendre plus robuste et de permettre de produire plus de résultats plus rapidement. De plus, les résultats bruts ont été produits directement au format Microsoft Excel. Les grandes étapes ajoutées sont :

- Validation spatiale des données d'embâcles et des cartes de glace (est-ce que l'embâcle se trouve dans la zone couverte par la carte de glace?)
- Extraction de la date de la carte de glace à partir du nom du fichier
- Validation de la date de l'embâcle par rapport à la date de la carte de glace selon le nombre de jours de décalage permis
- Calcul du pourcentage de recouvrement des classes de glace

Ces étapes, anciennement effectuées à la main avec Microsoft Excel et QGIS ajoutaient un risque d'erreur involontaire dû à leur nature répétitive. Les noms des cartes sont très similaires et le processus nécessitait beaucoup de concentration et de « copier-coller » de résultats entre les logiciels.

### **Validation spatiale des données d'embâcles et des cartes de glace (est-ce que l'embâcle se trouve dans la zone couverte par la carte de glace?)**

Cette partie sert à valider que les cartes de glace couvrent la région des embâcles. Dans la méthode manuelle, il fallait le valider manuellement. Cette fois-ci FME fait la détection et ajoute une indication des cartes de glaces associées, pour chaque embâcle (Figure 14).

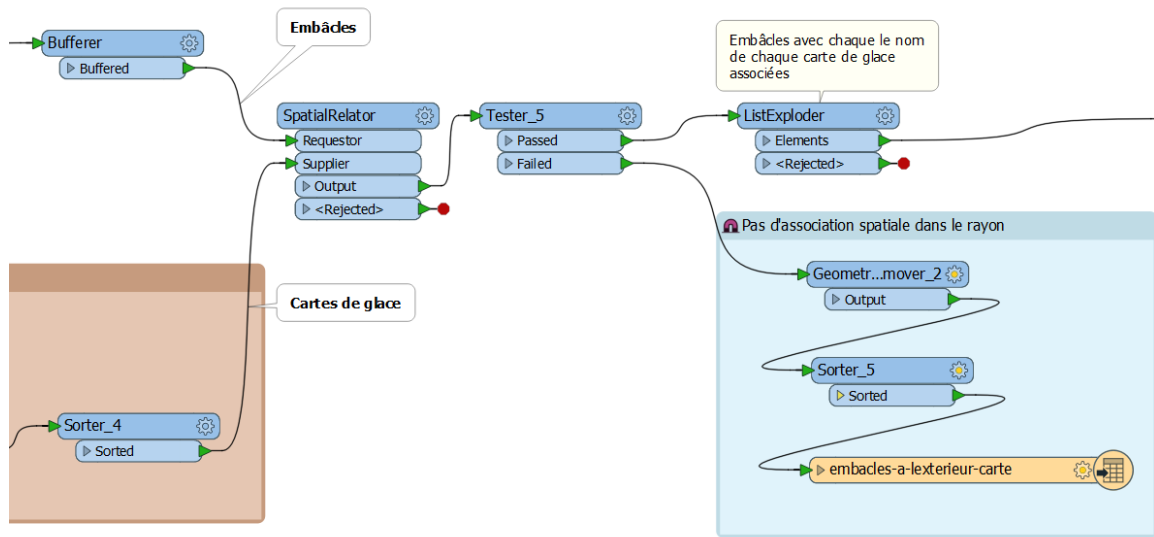


Figure 14 - Sous-section du traitement FME pour la validation spatiale des embâcles et des cartes de glace

### **Extraction de la date de la carte de glace à partir du nom du fichier**

En début de processus, le nom de la carte de glace (contenu dans le titre du fichier .tif) est manipulé afin d'en extraire la date. La date étant généralement dans la forme JOUR\_MOIS\_ANNÉE, il était possible de travailler la chaîne de caractères (string) dans FME et de créer un attribut « date » afin de le comparer avec la date des embâcles (Figure 15).

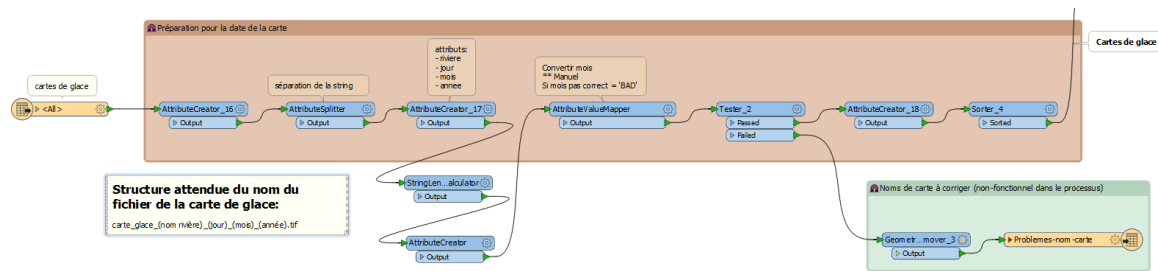


Figure 15 - Sous-section du traitement FME pour l'extraction de la date de la carte de glace

### **Validation de la date de l'embâcle par rapport à la date de la carte de glace selon le nombre de jours de décalage permis**

Une fois les embâcles et les cartes de glace associés spatialement à l'étape 1, les dates peuvent être comparées selon un test déterminé par l'utilisateur. Ce test a été construit comme « paramètre publié », ce qui permet à l'utilisateur de changer la valeur du test à chaque exécution du processus sans avoir à modifier la programmation. La différence de date est simplement testée contre la valeur utilisée dans le paramètre publié (Figure 16).

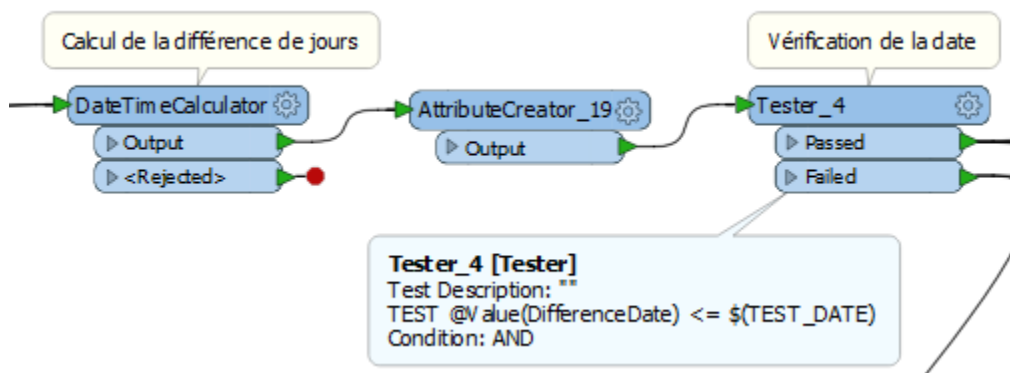


Figure 16 - Sous-section du traitement FME pour la validation de la date de l'embâcle en rapport à la date de la carte de glace

### **Calcul du pourcentage de recouvrement des classes de glace**

L'étape du calcul de pourcentage de superficie recouverte par les classes de glace se faisait bien et rapidement dans Excel mais une étape de plus a été gagnée en produisant le résultat sous forme de pourcentage, directement dans FME (Figure 17).



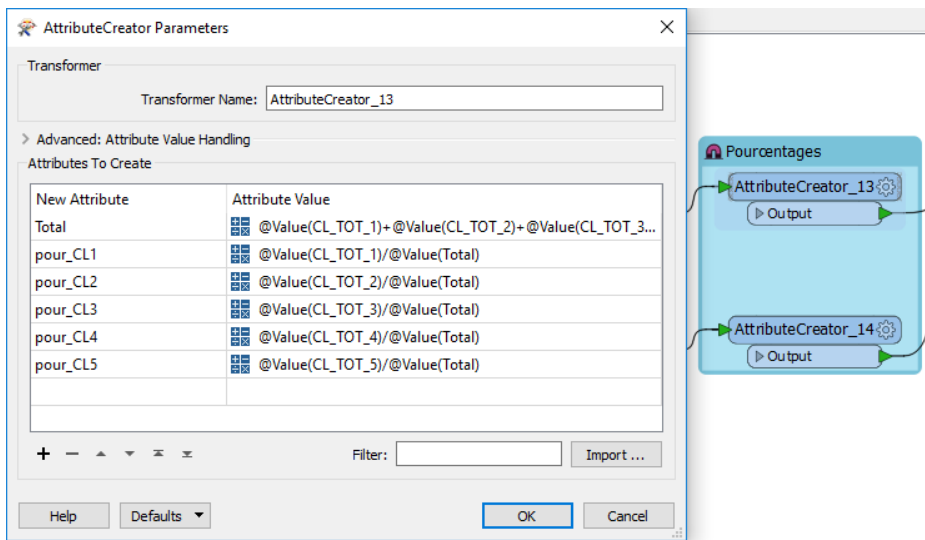


Figure 17 - Sous-section du traitement FME pour le calcul du pourcentage des résultats

### 3.3.5 Comparaison ancienne et nouvelle méthode

Ici un simple exemple pour présenter une erreur qui s’est glissé lors de l’ancienne méthode. Auparavant, l’association entre les embâcles et les cartes de glace se faisait manuellement par observation du nom de la carte de glace et de la date de l’embâcle dans le fichier shapefile. L’exemple qui suit est basé sur l’embâcle ID: 4238 sur la rivière Matapédia. Cet embâcle a été observé le 23 avril 2015.

La figure 18 représente les résultats obtenus avec la méthode originale (manuelle). Sur cette image, il est possible d’observer que les deux seules cartes retenues dans la méthode originale avaient les dates du 12 avril 2014 et du 21 avril 2015. Les résultats obtenus avec la carte du 12 avril 2014 ont été retirés, car il y avait plus de 3 jours (même plus d’une année) avant l’apparition de l’embâcle 4238. Le seul résultat restant est pour la carte du 21 avril 2015 (Figure 18).

4238	modérée									
carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte										*10j + avant embacle / trompé d'année
carte_glace_Matapedia_21_avril_2015_fonte		798125.000	30937.500	46914.063	114257.813	0.000	0.000	carte_glace	4238.000	*2j avant embacle
MOYENNE (TOTAL)		798125.000	30937.500	46914.063	114257.813	0.000	0.000			192109.375
MOYENNE (POURCENTAGE)		-	16.10%	24.42%	59.48%	0.00%	0.00%			

Figure 18 - Association entre l’embâcle 4238 et les cartes de glace depuis la méthode originale

La nouvelle méthode avec FME extrait la date de la carte de glace directement depuis son nom et la ramène sous une forme qui sera comparée avec la date d'observation de l'embâcle. Pour le même embâcle (ID: 4238), une carte de plus a été associée à l'embâcle, car elle était toujours dans l'écart toléré de 3 jours. Il s'agit de la carte avec la date du 25 avril 2015. Ce résultat avait échappé à l'observation faite selon l'ancienne méthode. La figure 15 représente une capture d'écran du résultat dans FME pour l'embâcle 4238 (Figure 19).

	no_seq_obs ▲	cap_severi	date_obser	Date_carte	DifferenceDate	nom_carte
168	4238	Modérée	20150423	20150425	2	carte_glace_Matapedia_25_avril_2015_fonte
169	4238	Modérée	20150423	20150421	2	carte_glace_Matapedia_21_avril_2015_fonte

Figure 19 - Association entre l'embâcle 4238 et les cartes de glace sous FME

Ainsi, avec la nouvelle méthode, aucune carte de glace n'est oubliée et la précision des résultats en est augmentée. Le tout se fait de manière automatique et évite les risques d'erreurs humaines.

## 4. Résultats

Les résultats compilés ont permis de créer des « signatures » pour les degrés de sévérité des embâcles selon la proportion des classes de glace présentes à l'endroit et au moment des embâcles. Chaque graphique correspond à des signatures dans une zone tampon donnée et chaque ligne dans chaque graphique correspond à un degré de sévérité particulier.

Deux types de résultats seront présentés :

- Résultats globaux : une synthèse globale des signatures regroupant les moyennes de tous les embâcles, selon leurs degrés de sévérité et selon le rayon d'analyse
- Résultats par rivières : une synthèse des signatures pour chaque rivière à l'étude, regroupant les moyennes de tous les embâcles, selon leurs degrés de sévérité et selon le rayon d'analyse.

Légende pour les graphiques :

Numéro	Classe de glace
1	Eau libre
2	Chenal ouvert et eau sur glace
3	Glace noire en dégradation
4	Glace blanche en dégradation
5	Glace consolidée en dégradation (blocs et amoncellements)

#### 4.1 Résultats globaux

Les moyennes de superficie pour chacune des classes de glace ainsi que pour chacun des degrés de sévérité ont été calculées à partir provenant des 5 rivières à l'étude. Les résultats sont regroupés tous ensemble pour une synthèse globale.

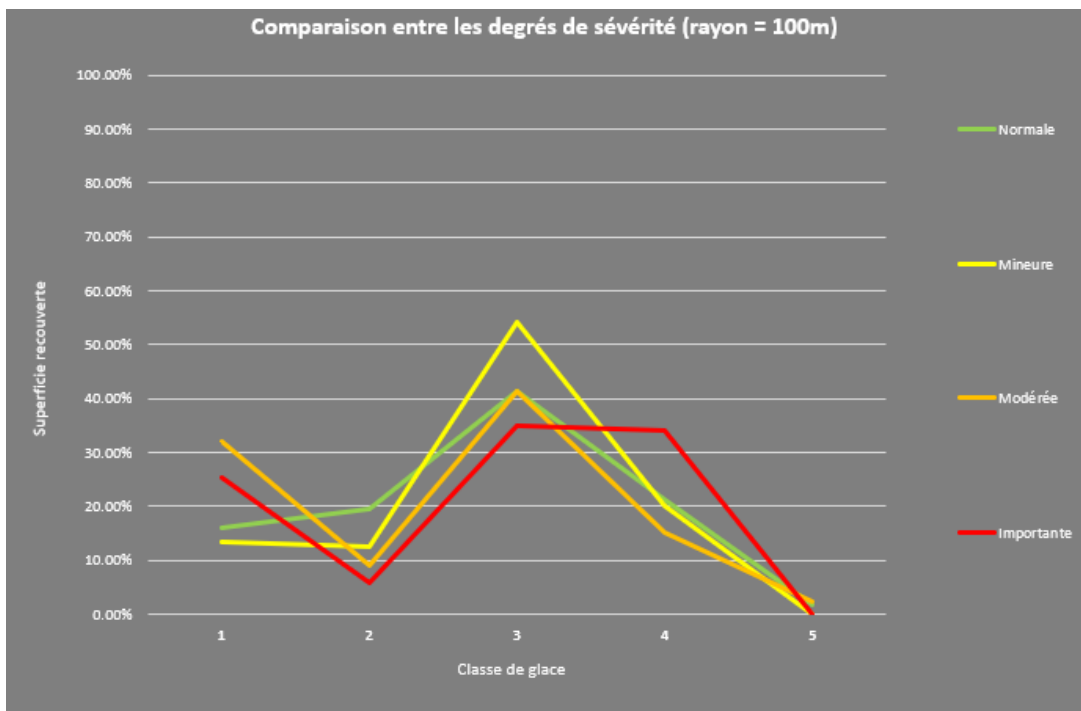


Figure 20 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 100m)



Figure 21 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 200m)

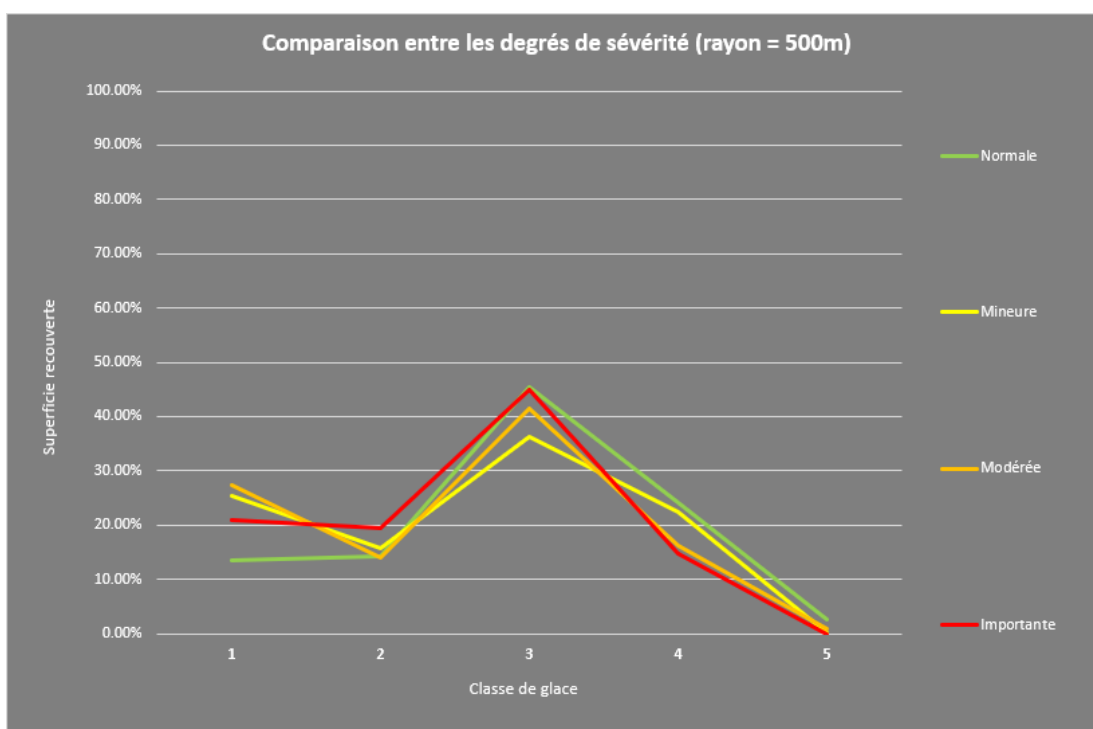


Figure 22 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 500m)

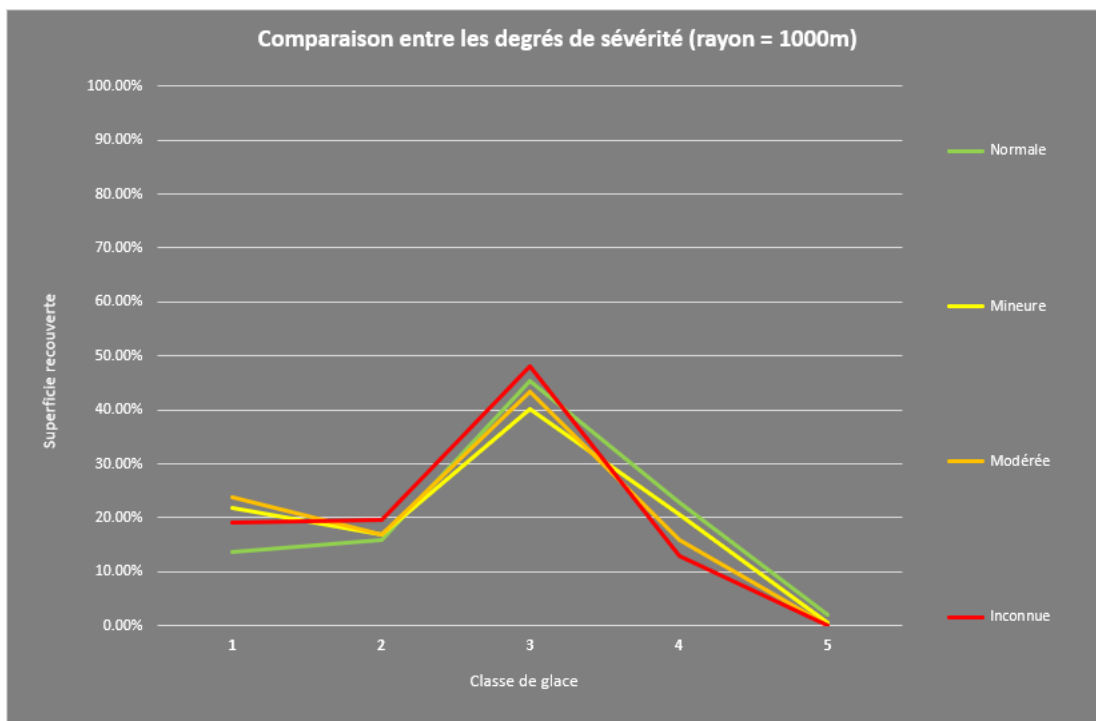


Figure 23 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 1000m)

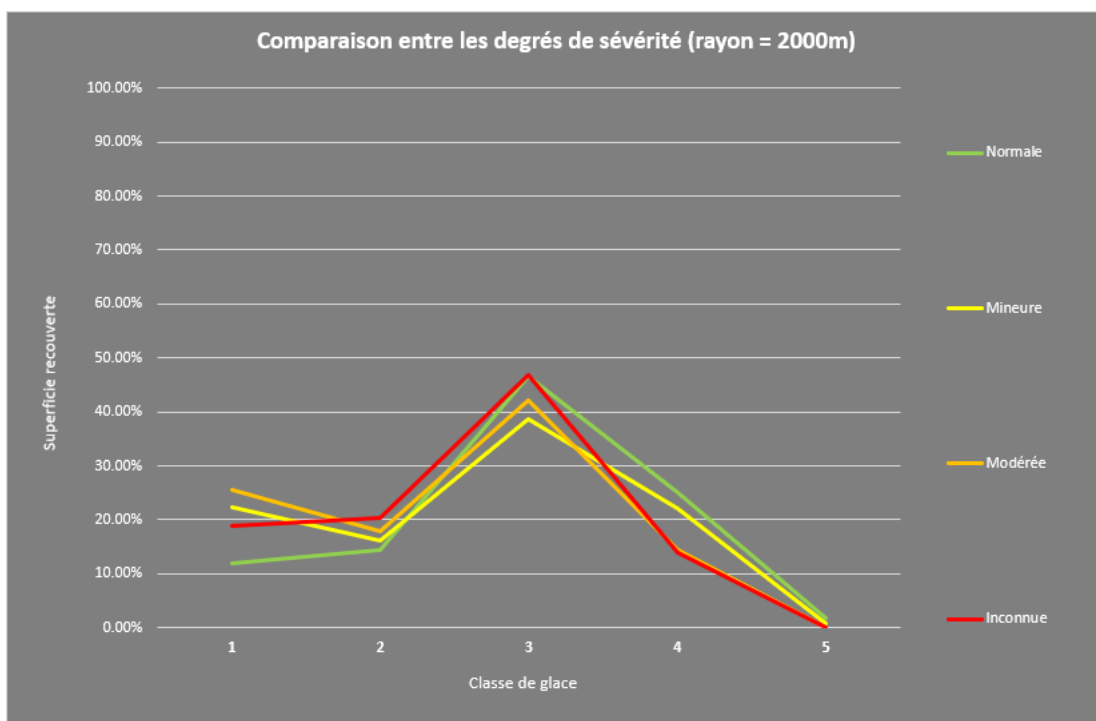


Figure 24 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 2000m)

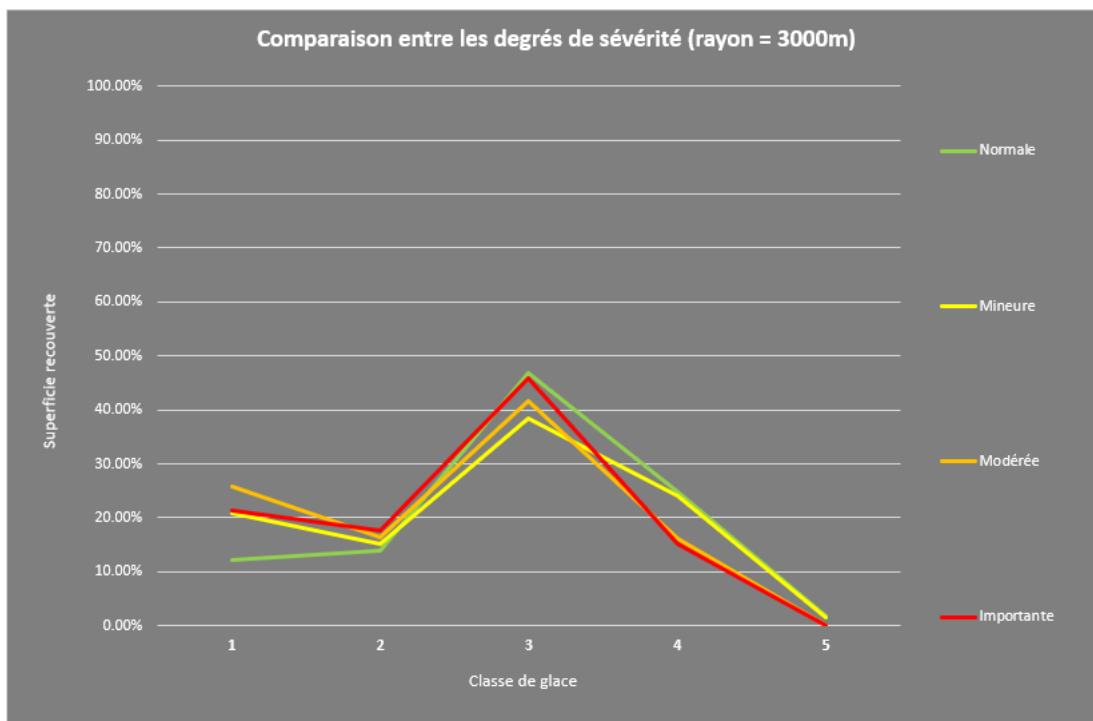
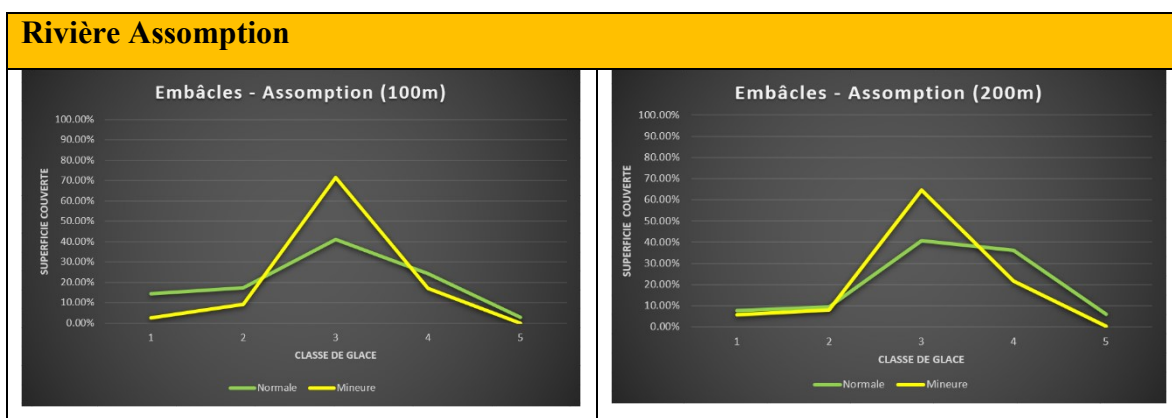


Figure 25 - Comparaison entre les degrés de sévérité (rayon = 3000m)

## 4.2 Résultats par rivières

Pour chaque rivière, une analyse a été réalisée pour les embâcles ayant une association avec une carte de glace à l'intérieur de 3 jours et pour des rayons de 100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m et 3000m. À noter qu'il n'y avait pas tous les degrés de sévérité présents pour chaque rivière, notamment en considérant la période de 3 jours à respecter pour l'analyse.

Les résultats tabulaires des graphiques sont également disponibles en annexe.



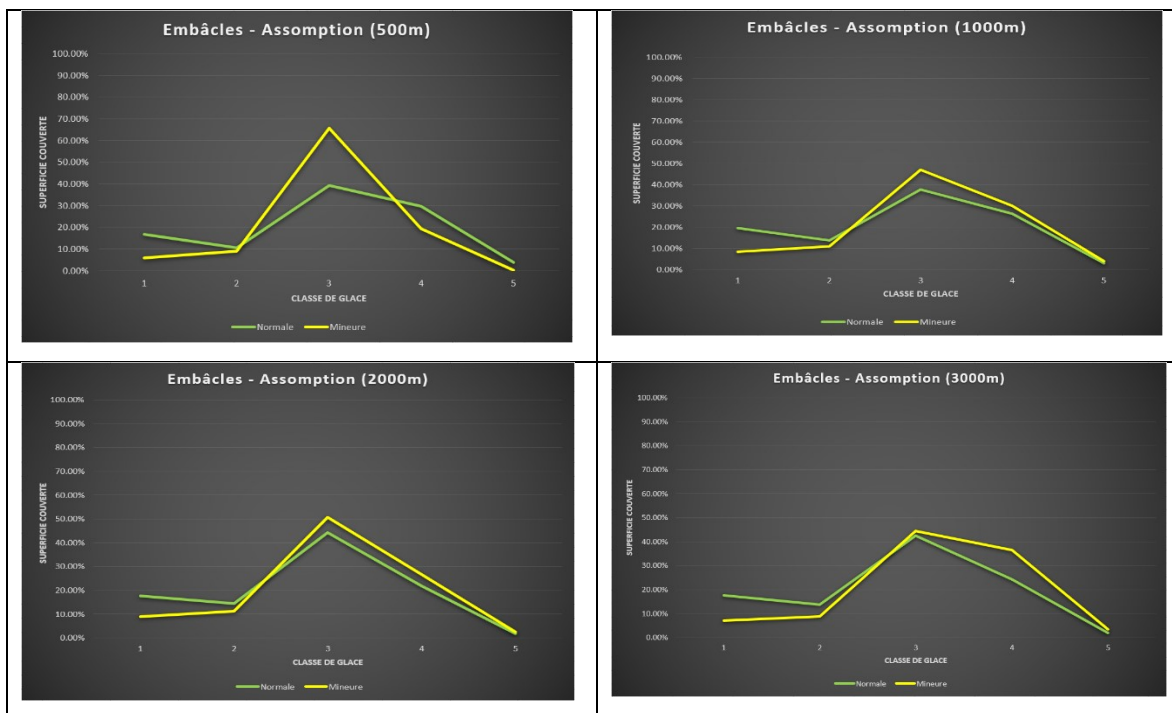
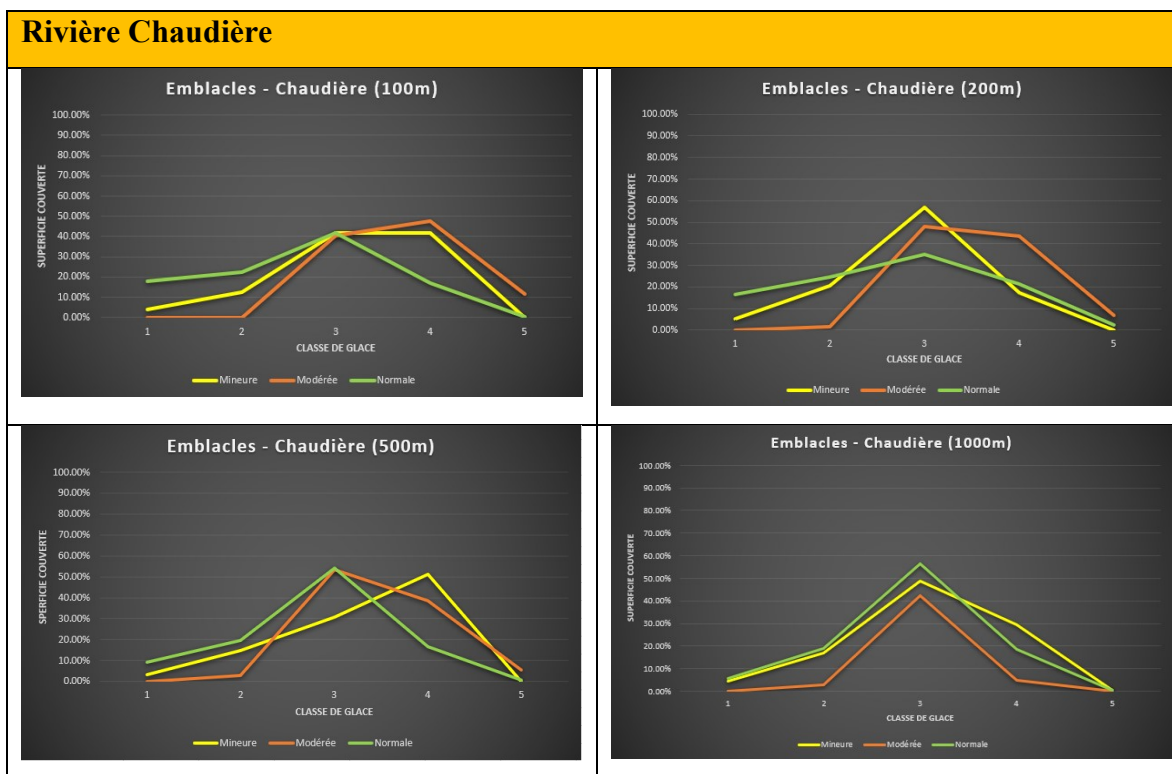


Figure 26 - Résultats pour la rivière l'Assomption



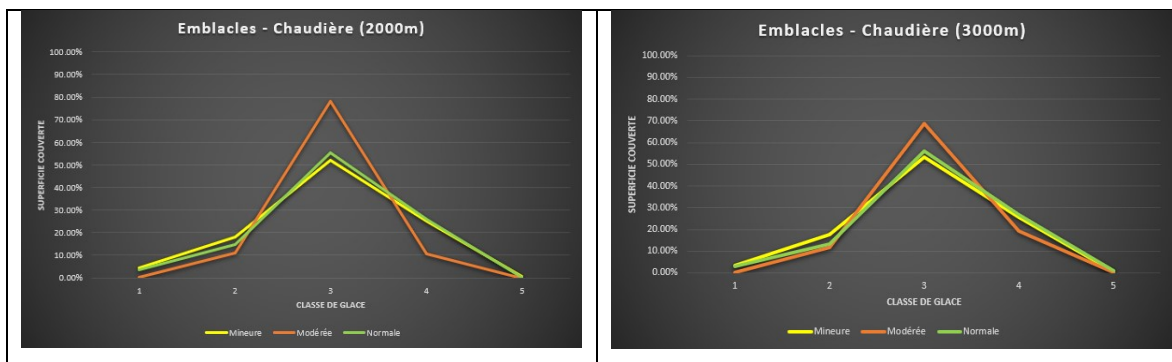


Figure 27- Résultats pour la rivière Chaudière



Figure 28- Résultats pour la rivière Matane



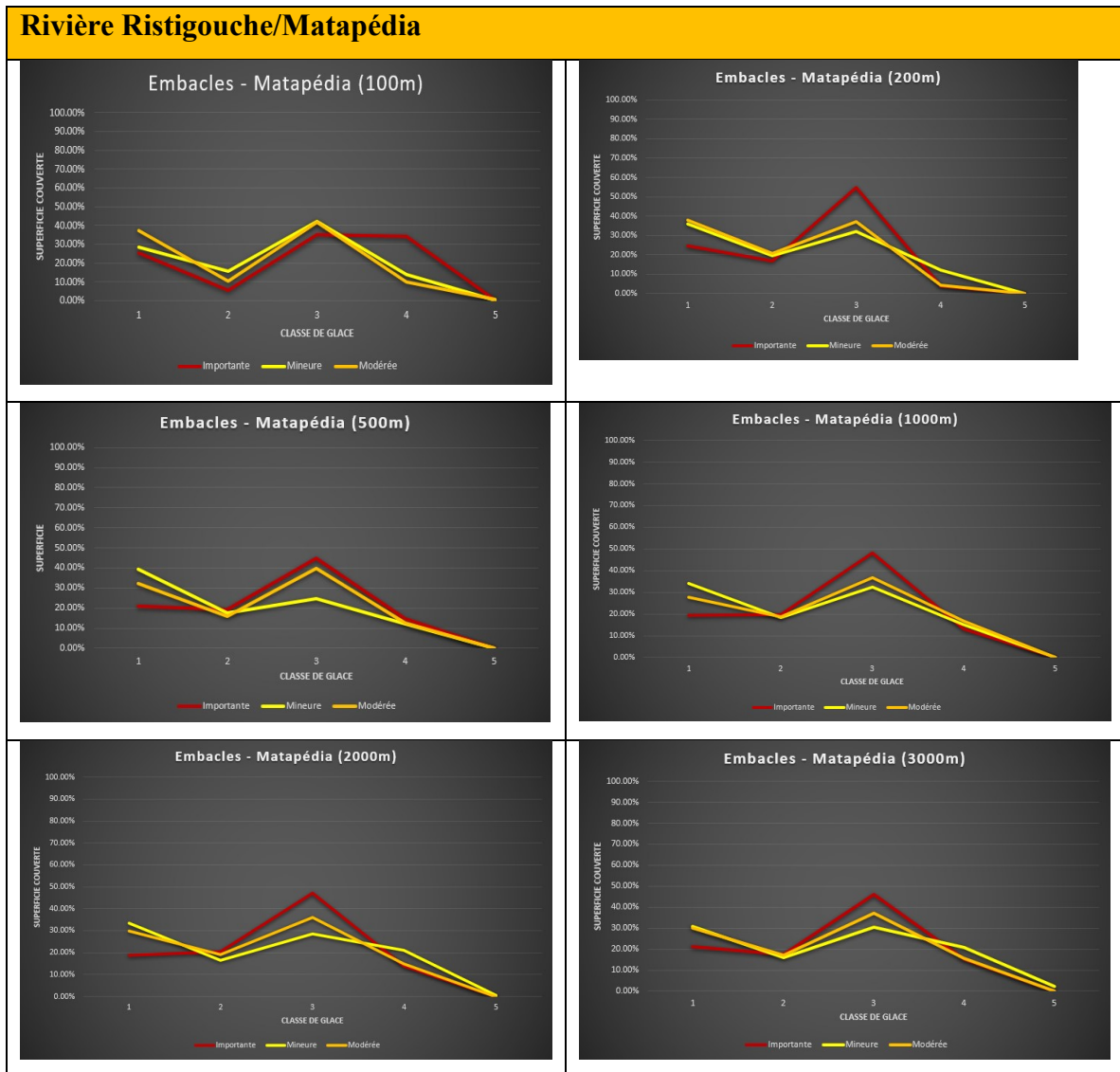


Figure 29- Résultats pour la rivière Ristigouche/Matapédia



Figure 30- Résultats pour la rivière St-François

## 5. Interprétation et discussion des résultats

### 5.1 Analyse des résultats globaux

Lorsque les résultats sont combinés globalement (toutes rivières confondues), il ne semble pas possible de dégager de tendances marquantes en ce qui concerne le degré de sévérité des embâcles et les types de glace avec lesquels ils sont composés. Les différences observables se situent principalement dans les zones les plus rapprochées du point central d'embâcle (100m, 200m). Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point central (500m, 1000m, 2000m, 3000m), la signature s'uniformise, peu importe le degré de sévérité de l'embâcle, excepté les embâcles de sévérité inconnue. Ces dernières n'ont pas de tendance de dégagée puisque les données sont absentes au niveau des dates et/ou du positionnement de ces embâcles par rapport aux cartes de glace.

La suite présente une analyse plus approfondie des résultats selon le rayon testé et le degré de sévérité de l'embâcle.

#### **100m**

Normale : à cette distance les embâcles de sévérité normale ont la signature la plus moyenne du groupe et elle ne s'écarte pas beaucoup de la tendance des autres degrés de sévérité. Le maximum est en classe 3 (glace noire en dégradation) avec une proportion de 41.47%. La transition entre les classes 1, 2 et 3 se fait progressivement et les classes 4 et 5 diminuent en proportion par la suite.

Mineure : les embâcles de sévérité mineure ont une signature plus forte que les autres degrés de sévérité à cette distance avec un sommet à 54.16% en classe 3. Les classes 1, 2, 4 et 5 demeurent plus minimes.

Modérée : les embâcles de sévérité modérée se distinguent par une proportion importante des classes 1 (eau libre, à 31.97%) et 3 (41.48%) dans la signature. Les classes 2, 4 et 5 suivent le reste de la tendance sous la barre des 20%.

Importante : les embâcles de sévérité normale se distinguent avec le sommet « plat » dans la signature, où les classes 3 (glace noire en dégradation) et 4 (glace blanche en dégradation) sont proches à 35.03% pour la classe 3 et 34.01% pour la classe 4.

## **200m**

Normale : à 200 mètres, les embâcles de sévérité normale conservent à peu près la même signature qu'à 100m à l'exception d'une augmentation légère de la proportion de superficies couvertes par la classe 4 (glace blanche en dégradation) à 27% contre 21.12% à 100m.

Mineure : il est possible d'observer une diminution de la proportion de classe 3 les embâcles de sévérité mineure à 200m. Cette diminution se fait au profit d'une augmentation de la proportion de la classe 1 (eau libre) qui a passé de 13.36% à 21.98%. Une autre augmentation s'observe aussi pour la classe 4 qui a passé à 21.76% à 200m relativement à 20.09% à 100m.

Modérée : pour les embâcles de sévérité modérée, il est possible d'observer une augmentation de 8.89% à 17.95% pour la classe 2 (chenal ouvert et eau sur glace) à 200m. Cette augmentation se fait au détriment d'une légère diminution pour les classes 3 et 4.

Importante : les embâcles de sévérité importante sont ceux qui affichent une plus grande différence de signature à 200m. En effet, un bon important est apporté à la classe 3, suivi d'une chute majeure de superficie couverte par la classe 4.

## **500m, 1000m, 2000m et 3000m**

À partir de 500m la signature de la superficie recouverte par les classes de glace s'équivaut entre les degrés de sévérité. Ceci est toujours vrai plus le rayon de comparaison augmente. Depuis cette observation, il est possible d'en déduire que l'importance des proportions se jour à l'intérieur des 500 premiers mètres du point central d'un embâcle. Après 500m, le bruit est trop fort et les résultats sont relativement les mêmes.

Il n'y a pas de nuance perceptible entre les degrés de sévérité des embâcles et leurs signatures correspondantes (superficie recouverte en comparaison aux classes de glace). Pour chaque, il y aura un niveau de classe 1 qui variera entre 15 et 25%, ensuite une diminution de la superficie recouverte en classe 2 qui oscillera entre 15 et 20%.

L'augmentation principale se fait en classe 3 avec une variation entre 35 et 50%, suivi d'une diminution en classe 4 entre 10 et 20%.

Dans toutes les situations, la classe 5 (glace consolidée en dégradation) reste en proportion minimale entre 0 et 5% peu importe la distance depuis le point central de l'embâcle.

## 5.2 Analyse des résultats par rivières

Cette analyse vise à vérifier si une tendance est observable entre le degré de sévérité des embâcles d'une même rivière et le pourcentage de recouvrement des classes de glace.

### **Rivière Assomption**

Il n'y a que deux types d'embâcles observés dans un délai de 3 jours avec les cartes de glace disponible pour cette rivière : embâcle de sévérité normale et de sévérité mineure. Dans le cas de la rivière l'Assomption, il semble que les embâcles mineurs aient un sommet de classe 3 (60% et plus) à l'intérieur d'un rayon de 100, 200 et 500m. À partir de 1000m, le ratio change et il y a une légère augmentation de classe 4 au fur et à mesure que le rayon s'agrandit.

### **Rivière Chaudière**

Sur la rivière Chaudière, il y a trois degrés de sévérité d'embâcle relevés à l'intérieur du délai de 3 jours : embâcle de sévérité normale, sévérité mineure et sévérité modérée. De 100 à 500m la signature des degrés de sévérité est distincte pour chaque, mais tend à s'uniformiser au fur et à mesure que le rayon s'agrandit. La signature des embâcles mineurs atteint un sommet en classe 3 et 4 à 100m, puis ce sommet se dirige vers la classe 3 à 200m et à la classe 4 à 500m. La signature des embâcles modérés évolue un peu différemment : un sommet de classe 3 et 4 relativement stable à 100 et 200m mais la classe 3 est distinctivement plus élevée à partir de 500m jusqu'à 3000m. Les embâcles normaux quant à eux, conservent tout au long de la progression une moyenne avec un sommet en classe 3.

### **Rivière Matane**

Pour la rivière Matane, il n'y avait que quelques embâcles mineurs pouvant être étudiés sur la période de 3 jours. La signature reste généralement la même au fur et à mesure que le rayon progresse en distance. Il semble aussi que la classe 4 prend plus d'importance à partir de 2000m de rayon.

### **Rivière Ristigouche-Matapédia**

Sur la rivière Ristigouche/Matapédia les trois degrés de sévérité retrouvés à l'intérieur de la période de 3 jours sont : importante, mineure et modérée. Sur cette rivière, les degrés de sévérité mineure et modérée semblent suivre la même signature avec un sommet en classe 1 et 3 peu importe le rayon de la zone tampon. La signature des embâcles de sévérité importante se distingue davantage à 100m et 200m en revanche. Un plateau des classes 3 et 4 s'observe à 100m, tandis qu'à 200m, il y a un sommet en classe 3 qui va rester pour tous les autres rayons de zone tampon plus grands.

### **Rivière St-François**

Il n'y avait pas de résultats pour cette rivière à l'intérieur d'un temps limite de 3 jours.

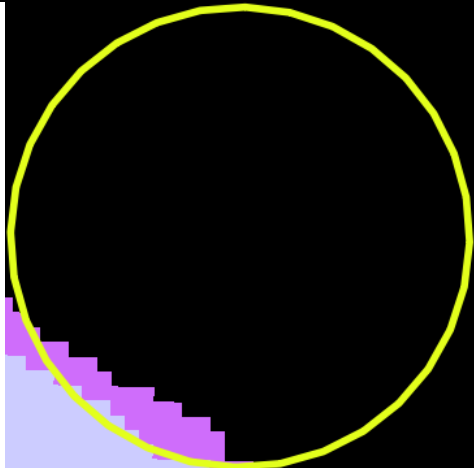
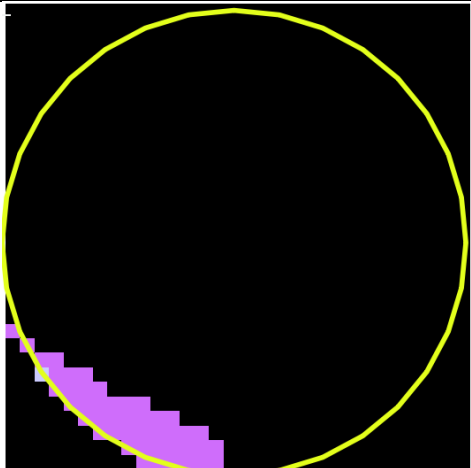
### **5.3 Analyse différentielle des embâcles importants en fonction de la distance**

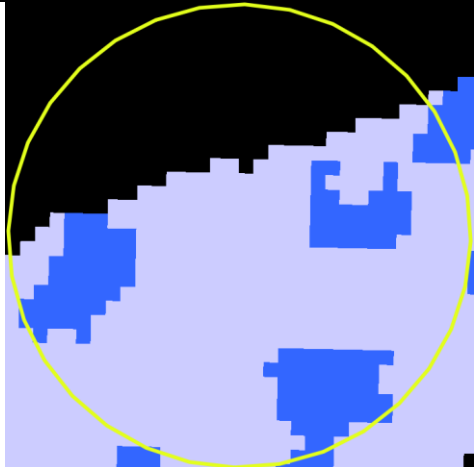
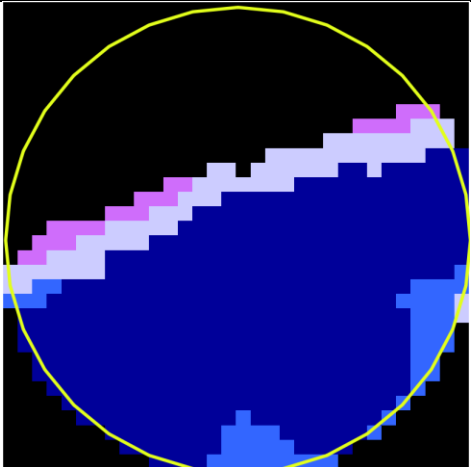
Afin d'évaluer s'il est possible de tirer davantage d'information des cartes de glace, une analyse différentielle des embâcles importants a été effectuée pour étudier plus en profondeur ce qui est observable pour ce type d'embâcle, à différentes distances. Au total, trois embâcles (ID : 1727, 1729 et 1730) des rivières Matapédia et Ristigouche ont été sélectionnés, car elles étaient de catégorie « importante » et qu'elles possédaient une carte de glace disponible à l'intérieur de 3 jours suivant la détection de l'embâcle.

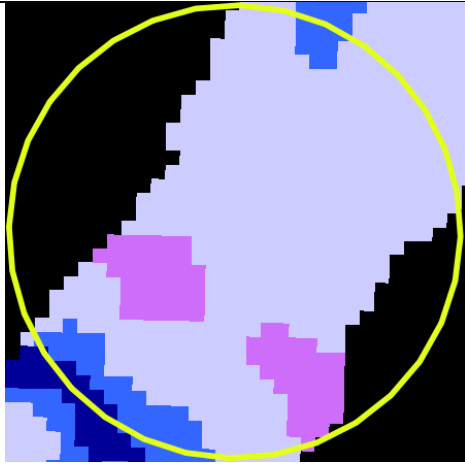
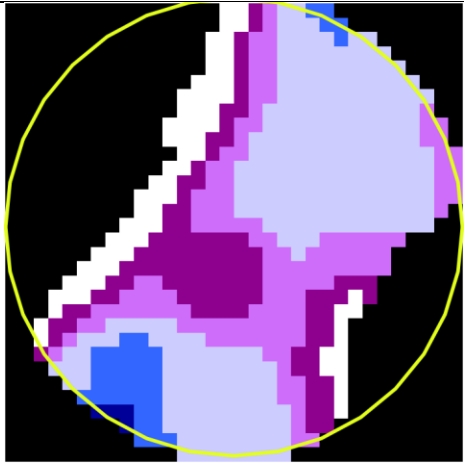
Il est à noter que les captures d'écran des cartes de glace du 19 avril 2014 sont découpées autour de la zone tampon, car elles résultent du processus FME. On y voit donc du *no-data* (couleur noire) à l'extérieur de la zone jaune. Les captures d'écran des cartes de glace du 12 avril 2014 n'ont pas le même découpage, car elles n'ont pas été soumises au processus

FME, car la différence de jours était plus grande que 3 jours. Ces cartes ont été ajoutées à l'analyse par la suite dans le but de faire une comparaison temporelle.

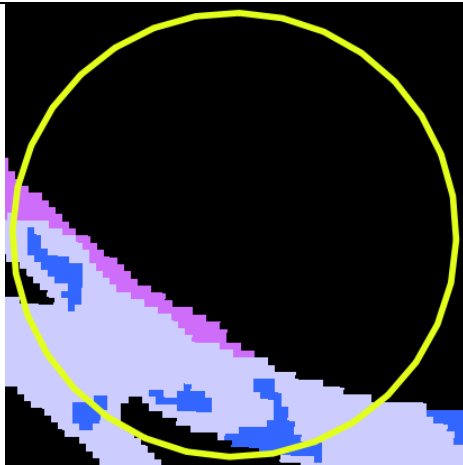
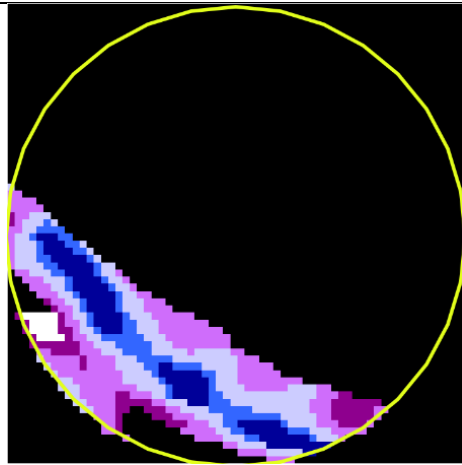
En raison du bruit croissant dans les résultats à partir de 500m, l'analyse se limite aux zones tampons de 100m, 200m et 500m. Les zones tampons de 1000m, 2000m et 3000m ont été exclues.

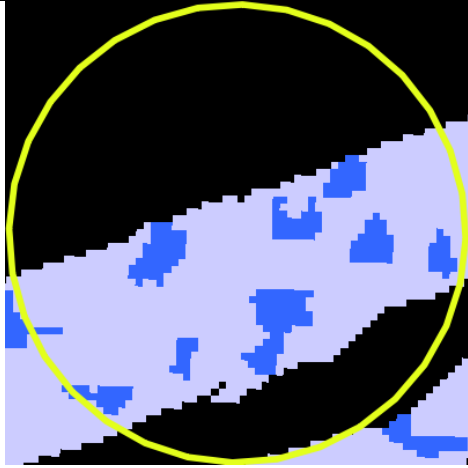
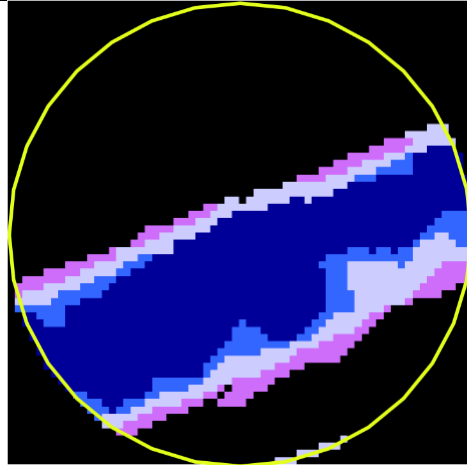
<b>Rayon</b>	100m	
<b>ID embâcle</b>	1727	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	<p>Il n'y a qu'une portion de la rivière de visible à cette distance, pas beaucoup d'information.</p> <p>Classe de glace en présence : principalement classe 5 ainsi que classe 3.</p> <p>La coordonnée de l'embâcle semble tomber à l'extérieur de la rivière, ce qui pourrait être la cause du manque d'information.</p>	<p>Classe de glace en présence : principalement classe 5, la classe 3 semble avoir disparu.</p>
<b>Capture d'écran</b>		

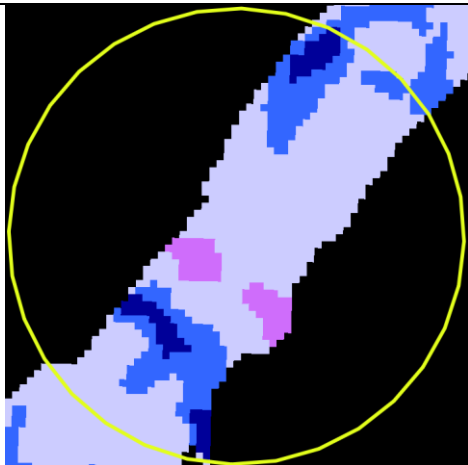
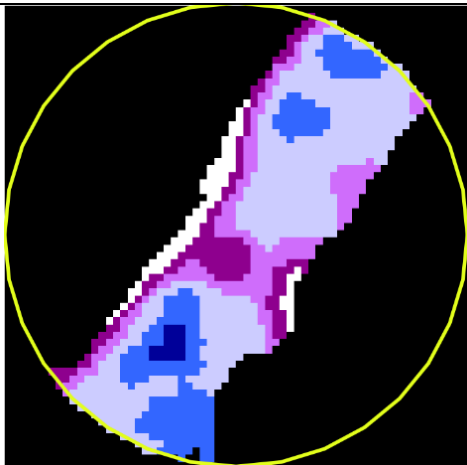
<b>Rayon</b>	100m	
<b>ID embâcle</b>	1729	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	La zone présente principalement de la classe 3 et 2. Il semble donc que l'embâcle était présent avant la date relevée du 18 avril.	Principalement classe 1, les abords de la rivière sont de type classe 3 et 4. Un peu de classe 2 au centre. Comme les classes 1 et 2 ne représentent pas de la glace, il est possible que l'embâcle soit déjà passé à cette période.
<b>Capture d'écran</b>		

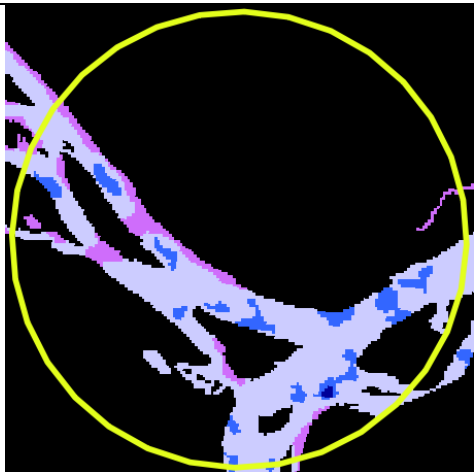
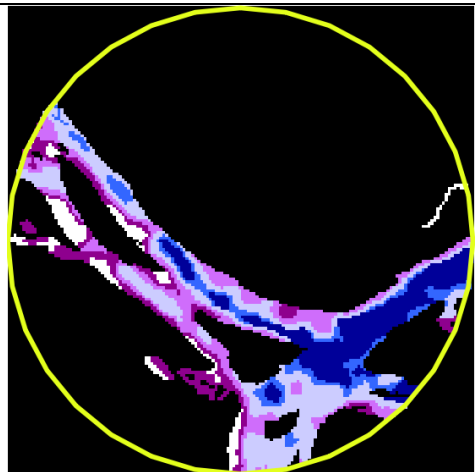
<b>Rayon</b>	100m	
<b>ID embâcle</b>	1730	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	La majorité de la zone est couverte par la classe 3. Quelques endroits de classe 4 et de classe 2 sont également présents en moins grandes parties.	Au centre de l'embâcle, un amoncellement de classe 5 et 4, en transition depuis la classe 3. Il semble y avoir un noyau de classes plus élevées au centre.
<b>Capture d'écran</b>		

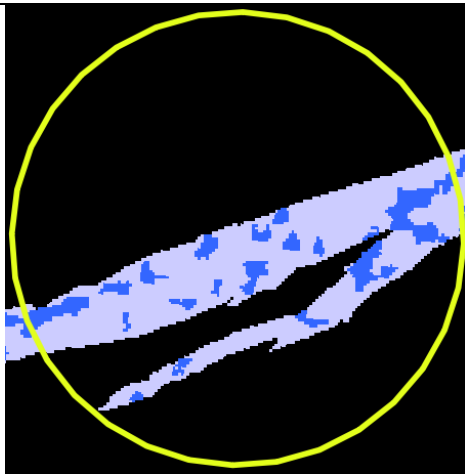
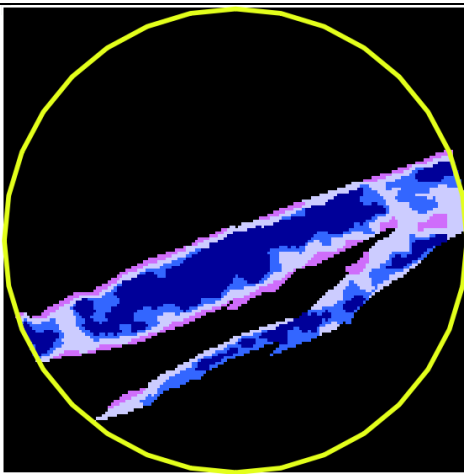


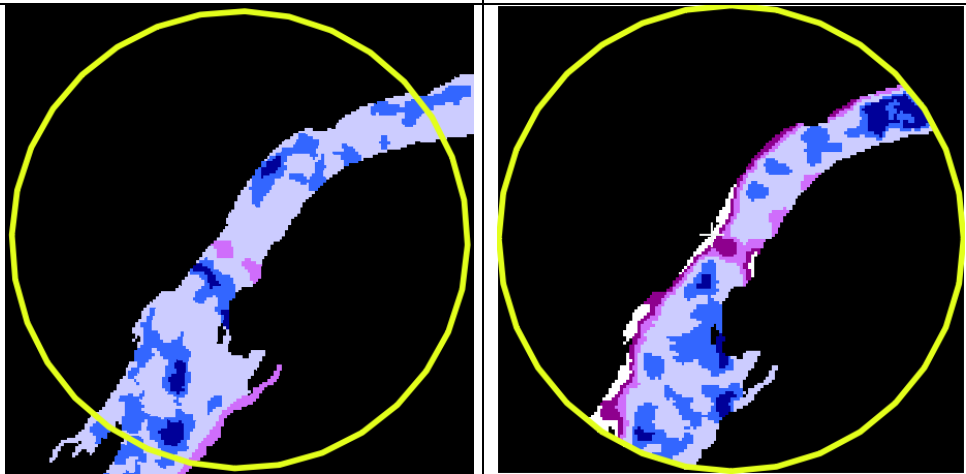
<b>Rayon</b>	200m	
<b>ID embâcle</b>	1727	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	<p>Plus de détails sur la composition des types de glace présents dans la rivière.</p> <p>Les abords sont principalement composés de classe 5. Le centre est de classe 3 et un peu de 2. Il semble que la glace au centre de la rivière constituait l'embâcle.</p>	<p>Les abords sont principalement composés de classe 4 et 5. Le centre est de classe 1 et 2.</p> <p>L'embâcle est principalement collé sur les abords de la rivière et occupe une superficie importante. Mais le centre est fluide et liquide (eau libre et chenal ouvert).</p>
<b>Capture d'écran</b>		

<b>Rayon</b>	200m	
<b>ID embâcle</b>	1729	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	Toujours principalement classe 3 et 2. Il est également probable que l'embâcle est en train de fondre à ce stade, car il a apparition d'eau liquide (chenal ouvert).	Les 2 côtés de la rive sont constitués de glace de classe 4 mais l'intérieur est toujours de classe 1 et 2. L'eau circule librement à ce stade-ci.
<b>Capture d'écran</b>		

<b>Rayon</b>	200m	
<b>ID embâcle</b>	1730	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	<p>À 200m il y a apparition de classes de glace plus chaudes. Des zones de glace 1 et 2 sont visibles, indiquant probablement que l'embâcle est en train de se former, avec les classes 3 et 4 plus fortes au centre.</p>	<p>À mesure que l'on s'éloigne du centre, la proportion de classe 3 devient plus importante. On retrouve également des concentrations de classe 2 isolées.</p> <p>L'embâcle est toujours présent et l'eau liquide n'est présente qu'à quelques endroits seulement.</p>
<b>Capture d'écran</b>		

<b>Rayon</b>	500m	
<b>ID embâcle</b>	1727	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	<p>À cette distance on remarque bien la présence d'îles dans le cours d'eau, soit un facteur de création d'embâcles (rétrécissement de la largeur disponible). Il y a également la confluence de la rivière Ristigouche avec la rivière Matapédia qui doit influencer sur le débit.</p> <p>La classe 3 domine toujours à ce stade-ci, avec des zones de classe 2 dispersées ici et là.</p>	On remarque une augmentation des classes de glace 4 et 5, car la largeur est relativement étroite entre les îles et les abords de la rivière
<b>Capture d'écran</b>		

<b>Rayon</b>	500m	
<b>ID embâcle</b>	1729	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	Présence remarquée d'une péninsule ou d'une île au milieu du cours d'eau, ce qui cause un rétrécissement de la largeur disponible dans la rivière. La structure des classes de glace semble toujours similaire : classe 3 et 2 au milieu.	La structure des classes de glace semble toujours similaire à 200m : classe 1 et 2 au milieu et des classes 4 et 5 sur les abords.
<b>Capture d'écran</b>		

<b>Rayon</b>	500m	
<b>ID embâcle</b>	1730	
<b>Date de l'embâcle</b>	18 Avril 2014	
<b>Sévérité</b>	Importante	
<b>Cartes de glace associées</b>	carte_glace_Matapedia_12_avril_2014_fonte	carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte_9classes carte_glace_Matapedia_19_avril_2014_fonte
<b>Différence de jours</b>	6 jours avant l'embâcle	1 jour après l'embâcle
<b>Analyse</b>	Plus bas il est possible d'apercevoir d'autre classe 4 sur la rive sud. Quelques endroits de classes 1 et 2 au milieu de la zone générale, il n'y aurait pas qu'un seul grand embâcle, mais plusieurs petits embâcles séparés par de l'eau.	À 500m, on constate une augmentation de classes 1 et 2 aux extrémités (eau libre et chenal ouvert et eau sur glace). Ce qui semble donc constituer les limites de l'embâcle.
<b>Capture d'écran</b>		

## 6. Conclusion

L'analyse du risque d'embâcles est un sujet d'étude pertinent pour la prévention des inondations et bris d'infrastructures. Les méthodes actuelles de prédiction se concentrent principalement sur l'utilisation de modèles mathématiques pour déterminer les hausses du niveau de l'eau suite à la débâcle. Cependant des recherches prometteuses plus récentes se concentrent également sur l'analyse morphologique des cours d'eau pour établir un système de prédisposition des rivières aux embâcles. Dans le même but d'analyse de prédiction d'embâcle, l'objectif de cet essai était de réaliser une analyse spatiale de correspondance entre des cartes de glaces extrapolées d'imagerie radar et des données historiques d'embâcles relevées par des patrouilleurs sur 5 rivières dans le sud du Québec. La méthode employée fut d'établir une moyenne des classes de glace selon le degré de sévérité des embâcles répertoriés. En superposant les données ponctuelles d'embâcles sur les cartes de glace, il fut possible de créer des zones tampons autour de ces points et extraire le pourcentage de superficie couverte par chacune des classes de glace se trouvant à l'intérieur de ces zones. En répétant l'expérience sur plusieurs distances de rayon (100m, 200m, 500m, 1000m, 2000m et 3000m), aucune tendance nette ne s'est dégagée au niveau de la distribution des classes de glace dans les embâcles selon leurs degrés de sévérité. Les signatures les plus distinctes existaient pour les rayons de 100m et 200m. À noter que les zones supérieures à 500m présentent des résultats homogènes entre les degrés de sévérité. L'expérience a été ensuite reconduite en testant les rivières étudiées individuellement. Encore une fois, pas de tendance nette d'observée. Une analyse différentielle a ensuite été réalisée pour observer en détail l'évolution des sites d'embâcles de sévérité importante, à l'intérieur des zones mentionnées ci-dessus.

## 7. Recommandations

Comme les classes de glace ne sont pas les seuls facteurs entrant dans la création d'un embâcle, il serait intéressant d'ajouter des variables permettant d'améliorer l'analyse du risque d'embâcle. Un facteur supplémentaire à ajouter serait les informations liées aux caractéristiques physiques des rivières telles que les méandres, rétrécissements des cours d'eau, différences de profondeur, etc. Un tel modèle serait plus complexe à construire, mais offrirait un portrait plus représentatif du risque d'embâcle. Les méthodes présentées dans l'étude de De Munk *et al.*, (2017) pourraient bien se joindre aux traitements réalisés dans le cadre de ce travail.

De plus, les signatures observées à 100m et 200m semblaient fournir une information plus distincte selon le degré de sévérité que dans les distances plus grandes (500m à 3000m). Pour continuer à investiguer sur cette piste, il serait intéressant de répéter la procédure pour un échantillon plus large de données à travers la province.



## 8. Références

- Beltaos, S., 1984. Study of river ice breakup using hydrometric station records. Proceedings Workshop on Hydraulics of River Ice. Fredericton, Canada, pp. 41–59.
- Beltaos, S. (2008). *Progress in the study and management of river ice jams*. Cold Regions Science and Technology 51 pp.2-19
- Beltaos, S. (2012). *Distributed function analysis of ice jam flood frequency*. Cold Regions Science and Technology 71 pp.1-10
- Beltaos, S. (2014). *Comparing the impacts of regulation and climate on ice-jam flooding of the Peace-Athabasca Delta*. Cold Regions Science and Technology 108 pp.49-58
- Bernier, M., Gauthier, Y., Poulin, J. (2013). *Améliorations potentielles et validation des produits de cartographie radar de la glace de rivière et des zones inondées*. Institut National de la Recherche Scientifique (INRS). Rapport de recherche R-1425. pp.1-54
- Campbell, J.B., Wynne, R.H. (2011). *Introduction to remote sensing – Fifth Edition*. The Guilford Press. New York. pp.1-667
- Chaouch, N., Temimi, M., Romanov, P., Cabrera, R., McKillop, G., Khanbilvardi, R. (2014). *Comparing the impacts of regulation and climate on ice-jam flooding of the Peace- An automated algorithm for river ice monitoring over the Susquehanna River using the MODIS data*. Hydrological Processes 28 pp.62-73
- De Munk, S., Gauthier, Y., Bernier, M., Chokmani, K., Légaré, S. (2017) *River predisposition to ice jams : a simplified geospatial model*. Natural Hazards and Earth System Sciences 17 pp.1033-1045
- Gherboudj, I., Bernier, M., Hicks, F., Leconte, R. (2007). *Physical characterization of air inclusions in river ice*. Cold Regions Science and Technology 49 pp.179-194
- Gouvernement du Canada (2011). ICE jam. *TERMIUM Plus. La banque de données terminologique et linguistique du gouvernement du Canada*. En ligne : [http://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=&index=alt&\\_index=alt&srchtxt=ICE+jam&comencsrch.x=0&comencsrch.y=0](http://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=&index=alt&_index=alt&srchtxt=ICE+jam&comencsrch.x=0&comencsrch.y=0). Consulté le 8 janvier 2016.
- The Huffington Post Canada (2013). Alaska Ice Jam : Galena, On Yukon River, Under Siege. *The Huffington Post Canada*. Journal électronique. En ligne: [http://www.huffingtonpost.ca/2013/05/30/alaska-ice-jam\\_n\\_3359775.html](http://www.huffingtonpost.ca/2013/05/30/alaska-ice-jam_n_3359775.html) . Consulté le 10 janvier 2016.
- Leshkevich, G., (1985). *Machine classification of freshwater ice types from Landsat-I digital data using ice albedos as training sets*. Remote Sensing of Environment. 17 (3), pp. 251–263.
- Leshkevich, G., Nghiem, S.V. (2013). *Great Lakes ice classification using satellite C-band SAR multi-polarization data*. Journal of Great Lakes Research Supplement 39 pp.55-64
- Mahabir, C., Hicks, F., Fayek, A.R. (2006). *Neuro-fuzzy river ice breakup forecasting system*. Cold Regions Science and Technology 46 pp.100-112
- Mahabir, C., Hicks, F., Fayek, A.R. (2007). *Transferability of a neuro-fuzzy river ice jam flood forecasting model*. Cold Regions Science and Technology 48 pp.188-201
- Massie, D.D, White, K.D., Daly, S.F. (2002). *Application of neural networks to predict ice jam occurrence*. Cold Regions Science and Technology 35 pp.115-122

- Morse, B., Ringo, B., Bergeron, P-E. (2001). *Site expérimental pour le suivi des embâcles de congestion*. 11th Workshop on the Hydrolics of Ice Covered Rivers, Ottawa, Ontario – 2001. Committee on River Ice Processes and the Environment. Session 4 – Ice Monitoring
- Pavelsky T.M. Smith, L.C. (2004). *Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and AVHRR time series*. Remote Sensing of Environment 93 pp.328-338
- Petrich, C., Saether, I., Fransson, L., Sand, B., Arntsen, D. (2015). *Time-dependent spatial distribution of thermal stresses in the ice cover of a small reservoir*. Cold Regions Science and Technology 120 pp.35-44
- Péloquin, T. (2009). La « grenouille » amphibie à l'œuvre. *La Presse*. Journal. En ligne : <http://www.lapresse.ca/actualites/grandmontreal/200901/23/01-820361-la-grenouille-amphibie-a-loeuvre.php>. Consulté le 6 Août 2018
- Plamondon, B. (2013). Embâcles: d'importants travaux préventifs sur les rivières Nicolet et Gosselin. *La Nouvelle union*. Journal électronique. En ligne : <http://www.lanouvelle.net/Faits-divers/2013-03-05/photo-3192864/Embacles-:-dimportants-travaux-preventifs-sur-les-rivieres-Nicolet-et-Gosselin/1>. Consulté le 10 janvier 2016.
- Robichaud, C., Hicks, F. (2001). *Remote Monitoring of River Ice Jam Dynamics*. 11th Workshop on the Hydrolics of Ice Covered Rivers, Ottawa, Ontario – 2001. Committee on River Ice Processes and the Environment. Session 4 – Ice Monitoring
- Turcotte, B., Morse, B. (2013). *A global river ice classification model*. Journal of Hydrology 507 pp.134-148
- Unterschultz, K.D., van der Sanden, J., Hicks, F.E. (2009). *Semi-automated classification of river ice types on the Peace River using RADARSAT-1 synthetic aperture radar (SAR) imagery*. NRC Research Press. Can. J. Civ. Eng. Vol. 30. pp.11-27
- Weber, F., Nixon, D., Hurley, J. (2007). *Potential of RADARSAT-1 for the monitoring of river ice: Results of a case study on the Athabasca River at Fort McMurray, Canada*. Cold Regions Science and Technology 120. pp.238-248
- Wuebben, J.L., Gagnon, J.J., Deck, D.S., (1995). *Ice jamming near the confluence of the Missouri and Yellowstone Rivers: characterization and mitigation*. USA CRREL Report SR, vol. 95-19.
- Zachrisson, G., (1990). *Severe break-ups in the River Tornealven: measures to mitigate damages from ice jamming*. Proceedings International Association of Hydraulic Research Ice Symposium (August 20–23) Espoo, Finland, vol. 2, pp. 845–857.

## Annexes

### Résultats compilés

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (100m)					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	16.03%	19.62%	41.47%	21.12%	1.75%
mineure	13.36%	12.39%	54.16%	20.09%	0.00%
modérée	31.97%	8.89%	41.48%	15.26%	2.41%
importante	25.26%	5.70%	35.03%	34.01%	0.00%
inconnue	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (200m)					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	13.29%	18.83%	37.14%	27.00%	3.75%
mineure	21.98%	16.14%	40.06%	21.76%	0.06%
modérée	32.47%	17.95%	38.69%	9.91%	0.99%
importante	24.59%	16.67%	54.90%	3.84%	0.00%
inconnue	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (500m)					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	13.55%	14.33%	45.48%	24.09%	2.55%
mineure	25.51%	15.81%	36.20%	22.30%	0.18%
modérée	27.46%	13.92%	41.59%	16.24%	0.79%
importante	20.82%	19.40%	44.95%	14.83%	0.00%
inconnue	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (1000m)					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	13.74%	15.94%	45.41%	22.93%	1.99%
mineure	21.84%	16.92%	40.06%	20.55%	0.63%
modérée	23.74%	17.02%	43.44%	15.81%	0.00%
importante	19.25%	19.65%	48.11%	12.99%	0.00%
inconnue	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (2000m)					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	12.06%	14.35%	46.72%	25.16%	1.70%
mineure	22.30%	16.09%	38.67%	22.15%	0.79%
modérée	25.67%	17.90%	42.07%	14.36%	0.00%
importante	18.86%	20.31%	46.94%	13.88%	0.00%
inconnue	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (3000m)					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	12.28%	14.02%	46.95%	24.93%	1.83%
mineure	20.75%	15.11%	38.48%	24.04%	1.63%
modérée	25.75%	16.44%	41.70%	16.11%	0.00%
importante	21.29%	17.58%	45.96%	15.17%	0.00%
inconnue	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

### Résultats par rivière – L'Assomption

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (100m) – L'ASSOMPTION					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	14.34%	17.30%	41.14%	24.39%	2.83%
mineure	2.46%	9.13%	71.49%	16.92%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (200m) – L'ASSOMPTION					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	7.62%	9.47%	40.84%	36.11%	5.96%
mineure	5.59%	8.00%	64.50%	21.53%	0.37%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (500m) – L'ASSOMPTION					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	16.62%	10.59%	39.33%	29.60%	3.85%
mineure	5.84%	9.11%	65.59%	19.30%	0.16%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (1000m) – L'ASSOMPTION					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	19.44%	13.71%	37.64%	26.15%	3.05%
mineure	8.37%	10.96%	46.92%	29.87%	3.87%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (2000m) – L'ASSOMPTION					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	17.75%	14.42%	44.17%	21.82%	1.84%
mineure	8.87%	11.31%	50.64%	26.57%	2.61%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (3000m) – L'ASSOMPTION					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	17.70%	13.66%	42.47%	24.18%	1.99%
mineure	7.09%	8.73%	44.34%	36.46%	3.37%

#### Résultats par rivière – Chaudière

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (100m) - CHAUDIÈRE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	18.06%	22.41%	41.87%	17.20%	0.46%
mineure	3.93%	12.55%	41.58%	41.94%	0.00%
modérée	0.00%	0.00%	40.56%	47.72%	11.71%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (200m) - CHAUDIÈRE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	16.69%	24.44%	34.92%	21.53%	2.42%
mineure	5.32%	20.52%	56.69%	17.47%	0.00%
modérée	0.00%	1.58%	48.02%	43.48%	6.92%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (500m) - CHAUDIÈRE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	9.24%	19.57%	54.09%	16.38%	0.72%
mineure	3.27%	14.69%	30.72%	51.32%	0.00%
modérée	0.00%	2.64%	53.27%	38.53%	5.56%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (1000m) - CHAUDIÈRE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	5.75%	19.07%	56.27%	18.41%	0.50%
mineure	4.25%	17.07%	48.88%	29.48%	0.32%
modérée	0.00%	3.00%	42.14%	4.86%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (2000m) - CHAUDIÈRE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	3.68%	14.69%	55.39%	25.83%	0.41%
mineure	4.30%	17.97%	52.07%	25.06%	0.61%
modérée	0.26%	10.88%	78.22%	10.64%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (3000m) - CHAUDIÈRE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
normale	2.92%	13.45%	56.03%	26.72%	0.88%
mineure	3.17%	17.62%	53.12%	25.55%	0.53%
modérée	0.33%	11.66%	68.84%	19.17%	0.00%

### Résultats par rivière – Matane

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (100m) - MATANE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	0.00%	10.59%	71.23%	18.18%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (200m) - MATANE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	0.00%	15.65%	67.48%	16.86%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (500m) - MATANE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	0.74%	21.42%	64.36%	13.48%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (1000m) - MATANE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	0.82%	18.09%	72.86%	8.23%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (2000m) - MATANE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	0.14%	3.60%	34.84%	58.84%	2.58%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (3000m) - MATANE					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	0.06%	1.41%	21.32%	72.91%	4.30%

### Résultats par rivière – Matapédia

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (100m) - MATAPÉDIA					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	28.46%	15.48%	42.24%	13.81%	0.00%
modérée	37.30%	10.37%	41.63%	9.84%	0.86%
importante	25.26%	5.70%	35.03%	34.01%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (200m) - MATAPÉDIA					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	36.13%	19.56%	32.09%	12.22%	0.00%
modérée	37.88%	20.68%	37.13%	4.31%	0.00%
importante	24.59%	16.67%	54.90%	3.84%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (500m) - MATAPÉDIA					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	39.26%	17.46%	24.87%	12.16%	0.00%
modérée	32.03%	15.80%	39.65%	12.52%	0.00%
importante	20.82%	19.40%	44.95%	14.83%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (1000m) - MATAPÉDIA					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	34.21%	18.27%	32.43%	15.08%	0.00%
modérée	27.69%	18.85%	36.63%	16.83%	0.00%
importante	19.25%	19.65%	48.11%	12.99%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (2000m) - MATAPÉDIA					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	33.44%	16.46%	28.57%	20.89%	0.64%
modérée	29.91%	19.07%	36.04%	14.98%	0.00%
importante	18.86%	20.31%	46.94%	13.88%	0.00%

MOYENNE TOTALE DES TYPES DE GLACE PAR SÉVÉRITÉ (3000m) - MATAPÉDIA					
CLASSE DE GLACE	1	2	3	4	5
mineure	30.96%	15.89%	30.26%	20.68%	2.21%
modérée	29.98%	17.24%	37.18%	15.60%	0.00%
importante	21.29%	17.58%	45.96%	15.17%	0.00%